

**UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD. LYON 1**

**INSTITUT DES SCIENCES et TECHNIQUES DE READAPTATION**

-----  
**Directeur : Professeur Yves MATILLON**  
-----

**PROPOSITION D'UN OUTIL D'EVALUATION DES STRATEGIES  
D'ANALYSE VISUELLE DES MOTS ECRITS :  
ETUDE D'UN GROUPE D'ENFANTS DYSLEXIQUES DE SURFACE**

**MEMOIRE présenté pour l'obtention du  
CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE**

**par**

**DECOPPET Nathalie**

**REGOL Valérie**

**Autorisation de reproduction**



**Professeur Eric TRUY  
Responsable de l'enseignement**

**LYON, le 5 juillet 2007**

**N°1382**

## UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

**Président**  
**Vice-Président CA**  
**Vice-Président CEVU**  
**Vice-Président CS**  
**Secrétaire Général**

**Pr. Lionel COLLET**  
**Pr. Joseph LIETO**  
**Pr. Daniel SIMON**  
**Pr. Jean-François MORNEX**  
**M. Gilles GAY**

\*\*\*

### FEDERATION SANTE

|  |           |                                |
|--|-----------|--------------------------------|
| U.F.R. de Médecine LYON GRANGE BLANCHE                                 | Directeur | <b>Pr. MARTIN Xavier</b>       |
| U.F.R de Médecine LYON R.T.H. LAENNEC                                  | Directeur | <b>Pr. COCHAT Pierre</b>       |
| U.F.R de Médecine LYON-NORD  | Directeur | <b>Pr. ETIENNE Jérôme</b>      |
| U.F.R de Médecine LYON-SUD   | Directeur | <b>Pr. GILLY François Noël</b> |
| U.F.R d'ODONTOLOGIE  | Directeur | <b>Pr. ROBIN Olivier</b>       |
| INSTITUT des SCIENCES<br>PHARMACEUTIQUES ET BIOLOGIQUES                | Directeur | <b>Pr. LOCHER François</b>     |
| INSTITUT des SCIENCES et TECHNIQUES de<br>READAPTATION                 | Directeur | <b>Pr. MATILLON Yves</b>       |
| DEPARTEMENT de FORMATION ET CENTRE DE<br>RECHERCHE EN BIOLOGIE HUMAINE | Directeur | <b>Pr. FARGE Pierre</b>        |

## FEDERATION SCIENCES

|   |           |                               |
|---|-----------|-------------------------------|
| Centre de RECHERCHE ASTRONOMIQUE DE LYON -<br>OBSERVATOIRE DE LYON        | Directeur | <b>M. GUIDERDONI Bruno</b>    |
| U.F.R. des SCIENCES ET TECHNIQUES DES<br>ACTIVITES PHYSIQUES ET SPORTIVES | Directeur | <b>M. COLLIGNON Claude</b>    |
| I.S.F.A. (Institut de SCIENCE FINANCIERE<br>ET d'ASSURANCES)              | Directeur | <b>Pr. AUGROS Jean-Claude</b> |
| U.F.R. de GENIE ELECTRIQUE ET DES PROCEDES                                | Directeur | <b>Pr. CLERC Guy</b>          |
| U.F.R. de PHYSIQUE  | Directeur | <b>Pr. HOAREAU Alain</b>      |
| U.F.R. de CHIMIE ET BIOCHIMIE   | Directeur | <b>Pr. PARROT H el ene</b>    |
| U.F.R. de BIOLOGIE  | Directeur | <b>Pr. PINON Hubert</b>       |
| U.F.R. des SCIENCES DE LA TERRE   | Directeur | <b>Pr. HANTZPERGUE Pierre</b> |
| I.U.T. A  | Directeur | <b>Pr. COULET Christian</b>   |
| I.U.T. B  | Directeur | <b>Pr. LAMARTINE Roger</b>    |
| INSTITUT des SCIENCES ET DES TECHNIQUES<br>DE L'INGENIEUR DE LYON         | Directeur | <b>Pr. LIETO Joseph</b>       |
| U.F.R. de MECANIQUE   | Directeur | <b>Pr. BEN HADID Hamda</b>    |
| U.F.R. de MATHEMATIQUES   | Directeur | <b>Pr. CHAMARIE Marc</b>      |
| U.F.R. D'INFORMATIQUE   | Directeur | <b>Pr. AKKOUCHE Samir</b>     |

**INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE READAPTATION**

**FORMATION ORTHOPHONIE**

DIRECTEUR ISTR  
**Pr. MATILLON Yves**

DIRECTEUR de la FORMATION  
**Pr. TRUY Eric**

DIRECTEUR des ETUDES  
**BO Agnès**

DIRECTEUR de la RECHERCHE  
**Dr. WITKO Agnès**

RESPONSABLES de la FORMATION CLINIQUE  
**PERDRIX Renaud**  
**MORIN Elodie**

CHARGÉE du CONCOURS D'ENTREE  
**PEILLON Anne**

SECRETARIAT DE DIRECTION ET DE SCOLARITE  
**BADIOU Stéphanie**  
**CLERC Denise**

## REMERCIEMENTS

Pour sa confiance, son soutien et ses relectures attentives et critiques des recherches présentées ici, nos sincères remerciements vont à Tatjana NAZIR, sans qui ce travail n'aurait pu aboutir,

Nous souhaitons encore remercier chaleureusement :

Stéphanie COLIN et Laurence LAUNAY pour leur relecture minutieuse et leurs commentaires éclairés sur ce travail,

Nathalie BEDOIN pour sa collaboration et ses précieux avis scientifiques,

L'équipe de l'Hôpital Debrousse de Lyon : Vania HERBILLON et Sonia KRIFI pour leur participation active à la sélection des enfants dyslexiques et leur grande disponibilité,

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des personnes mentionnées ci-dessous, pour leur précieux concours et active participation à ces recherches :

M. ERRERA, directeur de l'école primaire Paul Emile Victor de Lyon pour son accueil, sa grande disponibilité et son intérêt pour le présent travail,

M. BOURSE, directeur, et Mme GEOFFROY, Institutrice de CE2 à l'école primaire Montbrillant de Lyon, et Mme la directrice de l'école Anatole France de Villeurbanne, pour leur accueil au sein de leurs établissements et leur gentillesse,

François BRUNEL, Guillaume MALLET et Vincent SILES pour la conception des programmes informatiques,

Mmes CHARBONNIER et SAFA, orthophonistes, pour leur participation à la sélection des enfants dyslexiques et leur intérêt pour ce travail,

Catherine REGOL et Guillaume MALLET pour leur relecture attentive du manuscrit,

Mme Agnès WITKO pour ses conseils constructifs,

Nos remerciements s'adressent enfin tout particulièrement à nos familles respectives pour leur soutien sans failles, et tout spécialement, à Hugo pour sa joie de vivre, à Guillaume et François pour leur patience et leur sollicitude.

## SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCTION</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>I PARTIE THEORIQUE</b> .....  | <b>3</b>  |
| I.1 LE DEVELOPPEMENT DE LA RECONNAISSANCE VISUELLE DES MOTS .....  | 3         |
| I.1.1 <i>Les limites du traitement holistique des mots écrits</i> .....  | 3         |
| I.1.2 <i>Le traitement parallèle des lettres dans la reconnaissance des mots écrits</i> .....  | 4         |
| I.2 LES CONSEQUENCES DE L'ALTERATION DU TRAITEMENT PARALLELE DES LETTRES : L'APPORT DE VALDOIS ET COLLABORATEURS .....                             | 7         |
| I.2.1 <i>Lecture et fenêtre visuo-attentionnelle</i> .....   | 7         |
| I.2.2 <i>Réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle et dyslexie</i> .....  | 8         |
| I.3 CLIP : UN OUTIL D'EVALUATION DU DEVELOPPEMENT DES STRATEGIES PERCEPTIVO-LEXICALES DANS LA RECONNAISSANCE DES MOTS ECRITS .....                 | 9         |
| I.3.1 <i>La modélisation des contraintes visuelles dans l'identification des mots écrits : les travaux de Nazir, O'Regan et Jacobs, 1991</i> ..... | 9         |
| I.3.2 <i>L'intégration des paramètres lexicaux : le modèle CLIP (Kajii &amp; Osaka, 2000)</i> .....  | 12        |
| <b>II PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>III EXPERIMENTATION</b> .....   | <b>17</b> |
| III.1 MATÉRIEL ET MÉTHODE .....  | 17        |
| III.1.1 <i>Participants</i> .....  | 17        |
| III.1.2 <i>Matériel</i> .....  | 24        |
| III.1.3 <i>Procédure</i> .....   | 27        |
| <b>IV PRESENTATION DES RESULTATS</b> .....   | <b>30</b> |
| IV.1 ANALYSE DES DONNEES COMPORTEMENTALES .....  | 30        |
| IV.1.1 <i>Qualité du traitement de la forme globale des stimuli</i> .....  | 30        |
| IV.1.2 <i>Qualité du traitement des unités infra lexicales</i> .....   | 34        |
| IV.1.3 <i>Synthèse des résultats comportementaux</i> .....   | 38        |
| IV.2 SIMULATION DES PROFILS D'IDENTIFICATION DES MOTS AU MOYEN DU MODELE CLIP (KAJII & OSAKA, 2000).....   | 38        |
| IV.2.1 <i>Simulation des données comportementales des normaux lecteurs : Méthode et Résultats</i> .....  | 39        |
| IV.2.2 <i>Simulation des données comportementales des enfants dyslexiques de surface : Méthode et Résultats</i> 44                                 |           |
| <b>V DISCUSSION</b> .....  | <b>47</b> |
| V.1 ALTÉRATION DES STRATÉGIES D'ANALYSE VISUELLE DANS LA DYSLEXIE DE SURFACE .....   | 48        |
| V.2 ALTÉRATION DU DÉVELOPPEMENT DU SAVOIR ORTHOGRAPHIQUE DANS LA DYSLEXIE DE SURFACE .....   | 52        |
| V.3 PERSPECTIVES.....  | 54        |
| V.3.1 <i>Validité du paradigme de la position variable du regard pour les analyses individuelles</i> .....   | 54        |
| V.3.2 <i>Quelles pistes pour la rééducation ?</i> .....  | 57        |
| <b>VI CONCLUSION</b> .....   | <b>60</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....   | <b>62</b> |
| <b>ANNEXE 1. CARACTÉRISTIQUES DES STIMULI INTRODUCIS DANS LES LISTES EXPÉRIMENTALES</b> .....  | <b>67</b> |
| <b>TABLES</b> .....  | <b>74</b> |

# INTRODUCTION

Lire implique d'apprendre à calculer des codes orthographiques, phonologiques et sémantiques sur la base d'un stimulus visuel d'une nature particulière : le mot écrit. Les lecteurs débutants entrent dans l'apprentissage de la langue écrite munis d'une solide connaissance de la langue orale, prenant la forme d'un ensemble de représentations phonologiques conservées en mémoire à long terme et de leurs liens avec les représentations sémantiques correspondantes. L'enjeu initial pour ces enfants consiste donc à découvrir et assimiler les manières d'associer les formes écrites encore peu familières avec les formes phonologiques déjà connues, de manière à accéder à leur signification (Harm & Seidenberg, 2004). Seidenberg et McClelland (1989) défendent l'idée selon laquelle l'acquisition de la reconnaissance experte des mots écrits dans les langues alphabétiques serait conditionnée par deux principes fondamentaux et intrinsèquement liés : la découverte du principe alphabétique lui-même, et l'intégration des règles de combinaisons des lettres propres à la langue. En effet, les systèmes alphabétiques, au nombre desquels compte le français, sont fondés sur le principe de mise en relation systématique d'unités sonores minimales de la parole, les *phonèmes*, avec des unités graphiques minimales, ou *graphèmes*. L'appariement de ces deux ensembles d'unités restreints (i.e. environ 130 graphèmes et 36 phonèmes en français) débouche sur la création d'un nombre potentiellement infini d'unités plus larges, les *mots*, conférant aux systèmes alphabétiques une singulière productivité. Cette dernière les distingue notamment des écritures de type idéographique, basées sur l'usage de signes pictographiques chargés de transmettre le sens d'un concept sans référence directe à sa valeur phonétique. Si ce principe allège considérablement l'acquisition des langues alphabétiques, l'économie cognitive réalisée peut se révéler extrêmement coûteuse pour certains aspects du traitement de l'écrit. Ce point se vérifie tout particulièrement dans les langues à structure opaque, pour lesquelles les règles de correspondances unissant les graphèmes aux phonèmes ne s'appliquent strictement qu'à une portion restreinte du corpus linguistique. Parallèlement, les enfants doivent développer leurs connaissances concernant la distribution des configurations de lettres propre à leur langue : parmi l'ensemble des possibles, seules certaines combinaisons sont autorisées, dont la fréquence d'occurrence dans les mots est variable. L'assimilation des combinaisons admises faciliterait la distinction ultérieure des séquences rencontrées d'avec les autres éléments du vocabulaire.

La reconnaissance des mots écrits constitue donc le premier problème auquel tout lecteur débutant doit faire face, et l'expertise en lecture se nourrit très largement des habiletés développées au cours de cet exercice. Les représentations des mots sont les pierres d'achoppement de l'apprentissage et du traitement du langage écrit, autour desquelles tous les traitements de haut et bas niveaux impliqués dans la lecture (i.e. : opérations sensorielles, orthographiques, phonologiques, morphologiques, sémantiques et syntaxiques) convergent et divergent (Grainger & Jacobs, 1998). La description des processus impliqués dans la reconnaissance visuelle des mots constitue donc une approche adéquate pour l'exploration de l'acquisition normale de la lecture et de ses dysfonctionnements. Au fil des paragraphes suivants, nous reviendrons sur les principales étapes du développement de cette compétence, en mettant l'accent sur la nécessaire évolution vers un niveau d'analyse perceptive fine des entrées visuelles, prenant pour support les lettres constitutives de la séquence.

# I PARTIE THEORIQUE

## I.1 Le développement de la reconnaissance visuelle des mots

### I.1.1 Les limites du traitement holistique des mots écrits

Dans la tradition des recherches sur le développement de l'enfant, l'acquisition de la lecture a longtemps été envisagée comme une succession d'étapes définies par les stratégies transitoires adoptées par l'enfant au cours de son apprentissage, consécutivement à l'augmentation de ses capacités cognitives. La majorité des modèles proposés à la fin des années 80 respectent la logique générale du postulat de Frith (1985), devenu célèbre. Le stade *logographique* serait ainsi la première marche conduisant à la lecture experte. A ce moment, le mot n'est rien de plus pour le pré-lecteur qu'un objet visuel parmi tant d'autres, que ses connaissances ne lui permettent pas de mémoriser autrement que par la sélection arbitraire d'un indice discriminant. Dans la conception de Gough et Juel (1989), les tout premiers mots seraient assimilés à partir d'une procédure d'association de paires, stratégie caractérisant le stade de *l'association sélective*. Les enfants entreraient donc dans l'écrit en analysant les mots à la recherche d'un trait visuel distinctif : lettre située à l'une des extrémités de la séquence, forme particulière des caractères ou encore nombre de lettres nécessaires à la transcription du mot. Une rencontre ultérieure avec l'indice sélectionné déclencherait la restauration automatique de la réponse associée en mémoire, et en cas d'identification correcte, l'association serait maintenue. Cette technique permettrait l'«apprentissage» d'une quarantaine de mots, avant que les difficultés de sélection de traits distinctifs inédits et l'amenuisement des ressources mnésiques ne la rendent problématique.

Pour utiles qu'ils soient, les processus décrits ci-dessus sont donc nécessairement transitoires, puisque gouvernés par des principes trop rudimentaires pour sous-tendre les procédures de la lecture experte. Outre la complexité croissante entretenue par l'introduction de chaque mot nouveau, l'utilisation des associations établies est restreinte au matériel verbal familier. Le caractère arbitraire de ces paires exclut toute forme de généralisation, et renforce la propension à l'oubli. La persistance d'un apprentissage par mémorisation de configuration de lettres successives entre également en contradiction avec la conception de l'apprentissage défendue par d'influents modèles connexionnistes, élaborés dans la lignée des travaux

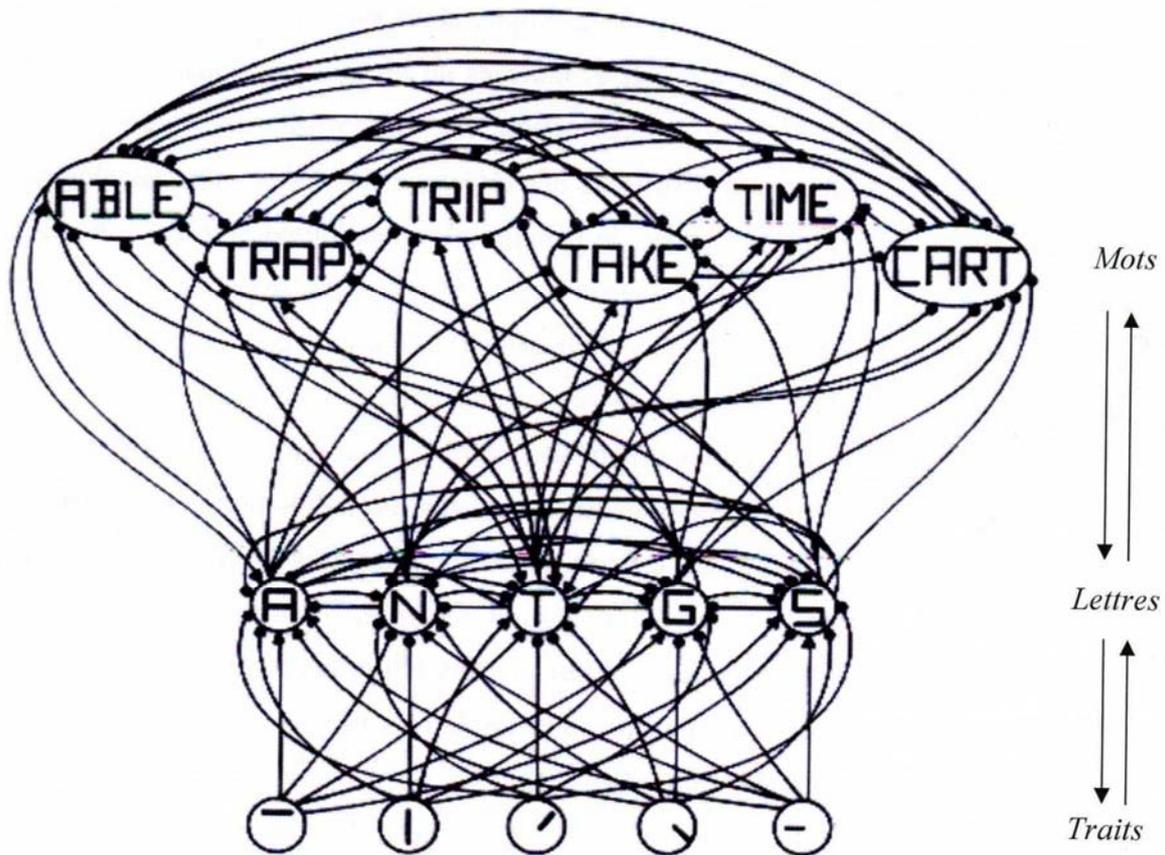
fondateurs de Seidenberg et McClelland (1989). Les simulations conduites au moyen de ces modèles parallèles et distribués (Strain, Patterson & Seidenberg, 1995 ; Plaut, McClelland, Seidenberg & Patterson, 1996 ; Seidenberg, Petersen, McDonald & Plaut, 1996; Harm & Seidenberg, 1999) ont permis d'envisager que l'assimilation des systèmes écrits alphabétiques est fortement conditionnée par les capacités individuelles de détection des principes fonctionnels de la langue de l'environnement. L'apprentissage du français écrit reposerait ainsi tout particulièrement sur la faculté des apprenants à tirer parti de la quasi-régularité de leur système linguistique. Le repérage d'associations récurrentes entre certaines formes graphémiques et phonémiques permettrait la construction progressive d'une représentation de la structure de la langue apprise. Cette structure interne suffisamment élaborée, le réseau responsable de la lecture deviendrait capable de réinvestir ses connaissances préalables au moment de l'acquisition de mots nouveaux. L'assimilation par mémorisation céderait alors la place à une stratégie déductive, allégeant la charge cognitive de l'apprentissage et renforçant son efficacité, tout en augmentant sa rapidité (mais voir cependant Monaghan & Ellis, 2002 et Decoppet, 2005 pour une discussion). Ce postulat est conforté par certains résultats expérimentaux, qui suggèrent que l'étape logographique est effectivement achevée dès la fin de la première année des apprentissages formels de la lecture, si toutefois elle a réellement été nécessaire aux enfants à un moment donné de leur évolution (voir par exemple Aghababian, 1998, thèse non publiée, Aghababian & Nazir, 2000 ; Sprenger-Charolles, Siegel & Bonnet, 1998). Le développement normal de la lecture exige par conséquent l'installation rapide de mécanismes de traitement mieux adaptés à la complexité du système à assimiler, prenant pour substrat des unités plus fines et modulables que la forme globale des mots.

### **I.1.2 Le traitement parallèle des lettres dans la reconnaissance des mots écrits**

La mise en relation de la reconnaissance visuelle des mots avec le traitement parallèle de la totalité de leurs lettres doit beaucoup aux travaux de Reicher (1969) et Wheeler (1970). Ces auteurs ont évalué les performances d'identification de lettres cibles présentées dans le contexte de mots, pseudo-mots (i.e. suites de lettres orthographiquement légales et prononçables, mais dont la forme orale ou écrite ne renvoie à aucun mot de la langue), ou non mots (i.e. suites de lettres imprononçables, ne respectant pas la structure orthographique de la langue), auprès de participants adultes. Les items étaient présentés brièvement (i.e. entre 24 et 40 ms) et immédiatement remplacés par un masque rétroactif, de manière à restreindre les

traitements à la seule analyse lexicale. Les participants devaient alors retrouver l'une des lettres de la séquence présentée, parmi deux choix possibles. Concernant les mots, les lettres candidates proposées autorisaient systématiquement la construction de mots réels, après substitution dans la position indiquée. Par exemple, après présentation du mot *rouge*, le choix forcé pouvait porter sur les lettres *t* et *g*, indicées au niveau de la quatrième position de la séquence, ce qui permettait la reconstruction du mot *rouge*, mais également celle du distracteur *route*. En limitant la pertinence des inférences lexicales, cette procédure favorisait l'interprétation des résultats en terme de perceptibilité des lettres plutôt que de récupération des représentations orthographiques conservées en mémoire. A l'issue de ces travaux, Reicher et Wheeler ont démontré que les taux d'identification correcte des lettres étaient plus élevés dans la condition mots, par comparaison aux autres conditions. Ce phénomène est désormais connu sous le terme *d'effet de supériorité des mots*. Le maintien d'un degré de performance élevé indépendamment de la position des lettres sur lesquelles portait le choix forcé a été considéré comme preuve que les lecteurs traitaient toutes les lettres des mots de manière équivalente, au moins dans les mots courts (Rayner, Foorman, Perfetti, Pesetsky & Seidenberg, 2001). Corrélativement, le fait que les lettres imbriquées dans les mots soient identifiées avec davantage de précision que les lettres isolées suggérait que ce traitement s'effectuait de manière parallèle plutôt que sérielle.

Les simulations conduites par McClelland et Rumelhart dans les années 1980 (McClelland & Rumelhart, 1981, Rumelhart & McClelland, 1982) ont permis d'avancer une première théorie explicative de l'effet de supériorité des mots. Le modèle d'Activation Interactive organise les traitements orthographiques impliqués dans la lecture selon trois niveaux hiérarchiques : celui des traits, celui des lettres et celui des mots. Tout niveau est constitué d'un ensemble d'unités, chacune correspondant à un exemplaire de la catégorie concernée. Les unités des deux premiers niveaux codent ainsi respectivement les différents traits constitutifs des lettres et les lettres elles-mêmes, en tenant compte de leur position dans le mot. Les unités du dernier niveau codent les mots dans leur forme globale. La présentation d'une séquence de lettres au système visuel entraînerait une propagation d'activité *ascendante*, du niveau élémentaire des traits vers le niveau plus élaboré des unités-mots, en passant par la couche des lettres. Chaque unité renforcerait l'activité des unités compatibles de niveau supérieur tout en inhibant les candidats incompatibles. A partir du niveau des lettres, ces mécanismes d'activation-inhibitions participeraient également à la sélection des unités de même rang. D'autre part, un mécanisme *descendant* autoriserait les unités de niveau supérieur à affecter les traitements en cours dans les étages inférieurs. Les lettres constitutives



**Figure 1 : Schéma du modèle d'Activation Interactive (McClelland & Rumelhart, 1981)**

Illustration de quelques unités voisines de l'unité codant la lettre T en première initiale du mot, et de leurs interconnexions. Les flèches représentent les connexions excitatrices, les points représentent les connexions inhibitrices. La propagation de l'activation se fait de manière ascendante (du niveau des traits vers celui des mots) et descendante (du niveau des mots vers celui des traits).

des mots participeraient alors de concert à l'activation de l'unité mot super-ordonnée et verraient en retour leur propre activité renforcée par les connexions réciproques. Le cumul des activités ascendantes et descendantes augmenterait la saillance des unités concernées, facilitant leur récupération et leur restitution par le système. La reconnaissance des lettres intégrées dans les mots serait par conséquent facilitée par le surplus d'activité provenant des unités-mots activées. Au contraire, la perception des lettres isolées ou incluses dans des séquences orthographiquement illégales, ne bénéficiant d'aucune activation des niveaux supérieurs, serait moins aisée. La Figure 1, ci-contre, propose une illustration de ce modèle.

Chase et Tallal (1990) ont établi que les performances de reconnaissance de lettres en choix forcé étaient positivement influencées par le contexte lexical, au moins dès l'âge de 8 ans. Les simulations des profils de performances obtenus, au moyen du modèle d'Activation Interactive (McClelland & Rumelhart, 1981), ont en outre permis à ces auteurs de décrire la progression vers la lecture experte. Celle-ci se caractériserait par la combinaison du renforcement des activités descendantes du niveau des mots vers celui des lettres, et de la propagation plus diffuse de l'activité ascendante, en provenance du niveau des lettres. La quantité d'activation transmise par les unités-mots aux unités-lettres est en effet apparue deux fois plus importante chez les enfants de 10 ans que chez leurs homologues âgés de 8 ans. Chez les lecteurs adultes par ailleurs, la présentation d'un mot à l'entrée du système créait des configurations d'excitations largement distribuées parmi les unités-mots. Ces configurations apparaissaient plus focalisées chez les enfants, et limitées aux unités-mots présentant une similitude maximale avec l'input. Finalement, les enfants dyslexiques testés par Chase et Tallal semblaient ne tirer qu'un très faible bénéfice du contexte des mots, la quantité d'activité transmise par les unités-mots aux unités-lettres ne représentant pas plus de 10% de la quantité correspondante chez les normaux lecteurs de même âge chronologique.

Les données rapportées dans les travaux sus-mentionnés démontrent que la reconnaissance visuelle des mots dépend de la capacité de l'apprenant à mettre en place une stratégie d'analyse des percepts visuels adaptée, à acquérir un savoir lexical étendu et à construire les procédures de couplages entre ces éléments de bas et haut niveau. Les études menées dans une perspective neuropsychologique ont confirmé ces résultats, en démontrant qu'une atteinte de ces éléments entraînait des troubles conséquents de l'acquisition de la lecture, chez des enfants ayant par ailleurs bien assimilé le principe d'association grapho-phonémique.

## **I.2 Les conséquences de l'altération du traitement parallèle des lettres : l'apport de Valdois et collaborateurs**

Dans la littérature, la dyslexie développementale est définie comme résultant d'un dysfonctionnement cognitif, lui-même secondaire à un dysfonctionnement neurobiologique. Certains chercheurs défendent la conception unitaire de la dyslexie (Frith, 1997, Ramus et al. 2003) en supposant que tout enfant dyslexique est porteur d'un trouble phonologique, qui s'exprime de différentes manières au niveau comportemental. Ce postulat a toutefois été sévèrement discuté par des auteurs comme Valdois et al. (2003), Castles et M. Coltheart (1996), Bosse, Tainturier et Valdois (sous presse), suite à la mise en évidence de profils de dyslexies développementales chez des enfants présentant de bonnes compétences phonologiques.

### **I.2.1 Lecture et fenêtre visuo-attentionnelle**

Valdois et collègues postulent que la compétence en lecture est fortement influencée par des phénomènes visuo-attentionnels de haut niveau, qui déterminent directement la quantité d'informations orthographiques extraites du percept visuel au cours d'une fixation unique. Cet empan perceptif, dont la taille est dépendante des ressources attentionnelles mobilisées par le lecteur, a été désigné par le terme de fenêtre visuo-attentionnelle (FVA par la suite). Cette approche a été conceptualisée par le modèle connexionniste de Ans, Carbonnel et Valdois (1998, ACV98 par la suite), qui envisage, dans l'esprit des modèles à double voie (M. Coltheart, Curtis, Atkins & Haller, 1993 ; M. Coltheart, Rastle, Perry, Langdon & Ziegler, 2001), que la lecture repose sur deux types de procédures : l'une analytique, l'autre globale. Le modèle tire son originalité de la distinction des deux procédures de lecture à partir du type de mécanismes phonologique et visuo-attentionnel auxquels elles font appel. En lecture globale, une seule étape suffirait à la récupération des représentations phonologiques de sortie complètes. En lecture analytique, le code phonologique de sortie serait extrait de séquences infra-lexicales sur lesquelles l'attention est focalisée, et qui correspondent aux lettres situées à l'intérieur de la fenêtre visuo-attentionnelle. Ces codes seraient ensuite maintenus dans la mémoire à court terme, afin de rester disponible pour leur assemblage en fin de traitement. En général, le processus global est utilisé pour les mots fréquents, alors que les pseudo-mots sont traités de manière analytique. Concernant la FVA, sa taille correspond à la totalité de la séquence de lettres présentée à l'entrée du système, lorsque la lecture s'effectue de manière

globale. En lecture analytique, en revanche, la FVA se réduit dans le but de pouvoir traiter successivement les différentes parties de l'input, tout en restant supérieure à l'espace occupé par une lettre unique.

## **I.2.2 Réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle et dyslexie**

Les travaux de Ans et al (1998), Valdois (2005) et Bosse et al. (sous presse) mettent en avant l'existence d'une corrélation entre la taille de la FVA et l'efficacité en lecture chez l'enfant. Valdois (2005) postule que la rapidité et la précision de la lecture sont prédites par le niveau visuo-attentionnel des enfants, et ceci indépendamment de leurs aptitudes phonologiques ou de leur niveau intellectuel. En particulier, l'altération des capacités de traitement visuo-attentionnels nuirait gravement à l'efficacité de la lecture globale, allant jusqu'à perturber la lecture analytique dans les cas extrêmes. Une réduction modérée de la taille de la FVA causerait une nette perturbation de la lecture de mots irréguliers et favoriserait l'apparition d'erreurs de régularisation, deux éléments caractéristiques du profil de dyslexie de surface dans les termes définis par De Partz & Valdois (1999).

D'après le modèle ACV98, la lecture des mots irréguliers dépendrait de la réactivation des traces-mots créées lorsque la totalité de la séquence orthographique d'entrée et la totalité de la séquence phonologique de sortie sont disponibles simultanément. Cette situation requiert l'identification correcte de la totalité des lettres du mot présenté en entrée. En réduisant les possibilités de reconnaissance de lettres, le déficit de la FVA entraînerait donc des perturbations dans l'élaboration de traces-mots dans la mémoire à court terme. Une réduction très sévère de la FVA serait de surcroît susceptible de perturber la lecture des pseudo-mots, alors même que les compétences en conscience phonologique des lecteurs sont intègres. En effet, le traitement des pseudo-mots repose essentiellement sur la procédure analytique, ce qui le rend particulièrement sensible au déficit phonologique. Toutefois, l'efficacité de la stratégie analytique serait également corrélée à la taille de la FVA, qui doit être suffisamment large pour traiter en parallèle un nombre suffisant de lettres (et en particulier les bigrammes et trigrammes). Dans ces conditions, l'étranglement de la FVA empêcherait la création des segments-traces, qui associent les unités orthographiques et phonologiques de niveau infra-lexical indispensables à la lecture des séquences de lettres nouvelles.

Il ressort de l'ensemble de ces recherches que le nombre de lettres identifiées au cours d'une fixation unique, ainsi que la qualité des percepts construits, déterminent aussi bien la reconnaissance des mots familiers que le déchiffrement des formes inconnues. Une

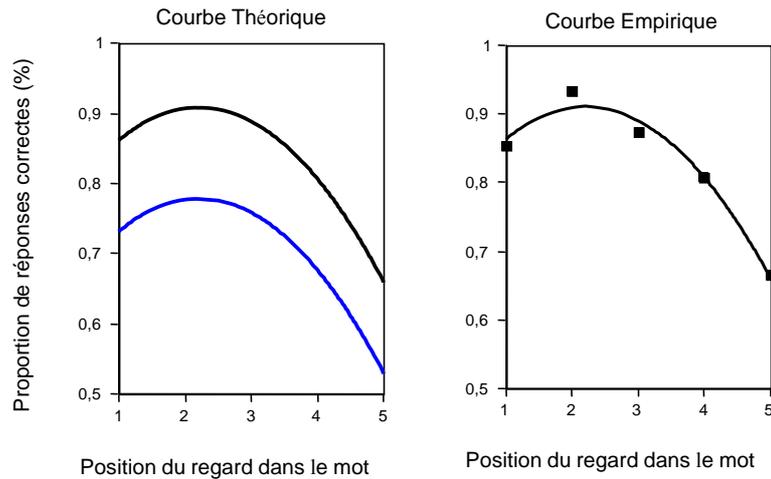
intervention efficace auprès d'enfants en difficulté d'acquisition de la lecture nécessite donc un dépistage précoce des stratégies d'analyse visuelle déviantes des mots écrits. Dès les années 80, les chercheurs ont tenté de comprendre comment les mouvements oculaires étaient contrôlés au cours de la lecture (Rayner et al., 2001). Lorsque nous lisons, nous avons en effet l'impression subjective que l'œil glisse de manière continue le long du texte. Or, les enregistrements psychophysiques ont révélé que les yeux réalisaient une succession de déplacements rapides (saccades progressives et régressives) entrecoupés de périodes où ils restaient relativement stables (fixations). Ces fréquents changements de position sont imposés par les limites de notre système visuel. L'acuité étant maximale dans la région centrale de la vision (fovéa), les lecteurs cherchent à recueillir un maximum d'informations dans cette zone. Les limites de l'acuité mises en évidence dans le traitement des textes s'expriment également au niveau de l'appréhension des mots isolés. Ceux-ci sont effectivement mieux reconnus lorsque l'œil se pose légèrement à gauche de leur centre. Ce profil bien particulier peut être observé dès la fin de la première année d'apprentissage de la lecture (Aghababian, 1998, Aghababian & Nazir, 2000). L'analyse de la corrélation entre la position du regard et la proportion de reconnaissance des mots ou des lettres permettrait de déceler précocement un comportement visuel atypique chez certains apprentis lecteurs.

### **I.3 CLIP : un outil d'évaluation du développement des stratégies perceptivo-lexicales dans la reconnaissance des mots écrits**

#### **I.3.1 La modélisation des contraintes visuelles dans l'identification des mots écrits : les travaux de Nazir, O'Regan et Jacobs, 1991**

Un résultat classique de la littérature portant sur la perception des mots écrits concerne la variation systématique des performances de reconnaissance suivant l'endroit de la séquence fixée par les participants. Les mots sont ainsi reconnus avec une précision maximale lorsque le regard se pose légèrement à gauche de leur centre et les performances diminuent ensuite régulièrement, à mesure que les yeux dérivent de cette position optimale (voir par exemple McConkie, Kerr, Reddix, Zola & Jacobs, 1989 pour des résultats obtenus dans des conditions de lecture naturelle, et Brysbaert, Vitu & Schroyens, 1996, Nazir, 1993 ; Nazir, O'Regan & Jacobs, 1991 ; Nazir, Jacobs & O'Regan, 1998 pour des données établies à partir de l'induction expérimentale de variations de la position du regard dans le mot). La proportion

d'identification correcte connaît en outre une diminution plus marquée lorsque les lettres situées à gauche de la fixation sont concernées. Ce phénomène est illustré par les graphiques de la Figure 2 empruntés à Nazir et al. (1991). Les pourcentages d'identification correcte de mots de 5 lettres ont été représentés suivant la position de la lettre fixée (évoluant entre 1 et 5), tels qu'ils ont pu être observés dans des conditions expérimentales (graphique de droite) et prédits théoriquement en tenant compte des limites de l'acuité visuelle (graphique de gauche et tableau du bas).



| Position de la lettre fixée | Probabilité d'identification des lettres individuelles |     |     |     |     | Probabilité d'identification du mot |
|-----------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-------------------------------------|
|                             | 1  | 2   | 3   | 4   | 5   |                                     |
| 1                           | 1  | .97 | .94 | .91 | .88 | .73                                 |
| 2                           | .95  | 1   | .97 | .94 | .91 | .78                                 |
| 3                           | .89  | .95 | 1   | .97 | .94 | .77                                 |
| 4                           | .84  | .89 | .95 | 1   | .97 | .69                                 |
| 5                           | .78  | .84 | .89 | .95 | 1   | .55                                 |

**Figure 2.** Calcul de la probabilité théorique d'identifier un mot de 5 lettres suivant la position du regard dans la séquence, d'après les paramètres du modèle mathématique de Nazir et al. (1991) et pour un taux de diminution fixé à .03. Admettant que la probabilité d'identifier la lettre située immédiatement sous la fixation est de 1, la probabilité d'identifier la lettre voisine sur la droite est de  $(1-.03 = .97)$ , tandis que la probabilité de reconnaître la lettre correspondante sur la gauche est de  $(1-.03 \times 1.8 = .95)$ . La probabilité d'identifier un mot fixé sur la première lettre correspond donc à :  $(1 \times .97 \times .94 \times .91 \times .88 = .73)$ . Le détail des calculs sur les 5 positions de fixations potentielles est donné dans le tableau ci-dessus. Le graphique de gauche présente les prédictions du modèle quant à la variation des proportions de réponses correctes suivant la position du regard dans le mot. La courbe bleue reprend les résultats présentés dans le tableau et la courbe noire présente les mêmes données modifiées par une valeur constante pour atteindre la hauteur de la courbe empirique rapportée dans le graphique de droite. Dans les deux conditions, la probabilité d'identification du mot se trouve à son maximum pour les fixations légèrement à gauche de son centre, et décroît progressivement à mesure que le regard dérive de cette position optimale, suivant une pente plus marquée dans les conditions où la partie droite du mot est fixée, laissant la majorité des informations tomber dans le champ visuel gauche.

Le calcul des courbes théoriques rapportées ci-dessus, dont la forme s'accorde remarquablement avec les données expérimentales, satisfait aux principes du modèle

mathématique élémentaire développé par Nazir et collaborateurs (1991) à partir des trois présupposés suivants : 1) l'identification des mots est basée sur les lettres (Massaro & Klitzke, 1977, cité par Nazir et al., 1991), 2) les lettres d'un mot sont identifiées indépendamment les unes des autres et 3) la contribution d'une lettre donnée à l'identification d'un mot est proportionnelle à son degré de *lisibilité*, soit à la quantité d'informations visuelles récupérables à partir de la lettre concernée, suivant la position du regard dans la séquence. Dans les détails, la probabilité d'identifier la lettre située sous la fixation est considérée comme maximale, étant donné la haute résolution de la vision centrale, et a donc conventionnellement été fixée à 1. Compte tenu de l'augmentation linéaire de l'angle de résolution minimum à l'intérieur des 10° centraux du champ visuel (ex : Olzak & Thomas, 1986 ; cité par Nazir et al., 1991), la probabilité d'identifier les lettres voisines est en revanche supposée diminuer par pas constants, pour chaque lettre située en vision périphérique. La valeur du taux de diminution est imposée par les conditions expérimentales de présentation des stimuli et s'élève à .03 dans l'exemple proposé. Enfin, considérant que certaines données expérimentales attestent d'un taux de reconnaissance plus élevé pour les lettres présentées dans le champ visuel droit plutôt que gauche (ex : Bouma, 1973 ; Bouma & Legein, 1977 ; cité par Nazir et al., 1991), le modèle prévoit que le taux de diminution de la lisibilité des lettres tombant à gauche de la région fixée soit accentué par introduction d'un ratio d'asymétrie évalué empiriquement à 1.8 par Nazir et al. La probabilité d'identifier une séquence de 5 lettres fixée à une position donnée correspond alors à la multiplication des probabilités d'identification de ses lettres individuelles, en application de l'équation suivante :

$$P_{word}(f, a, b_{left}, b_{right}, l) = \left\{ \begin{array}{l} \left( \prod_{n=1}^{l-f} (a - n \cdot b_{right}) \right) \cdot a \quad : f = 1 \\ \left( \prod_{n=1}^{f-1} (a - n \cdot b_{left}) \right) \cdot a \cdot \left( \prod_{n=1}^{l-f} (a - n \cdot b_{right}) \right) \quad : 1 < f < l \\ \left( \prod_{n=1}^{f-1} (a - n \cdot b_{left}) \right) \cdot a \quad : f = l \end{array} \right.$$

Equation 1 : où  $P_{word}(f, a, b_{left}/b_{right}, l)$  représente la probabilité d'identifier un mot en fonction de la position  $f$  de la lettre fixée dans la séquence (en unités de lettres), de la probabilité  $a$  d'identifier la lettre directement fixée, des taux de diminution  $b_{left}$  et  $b_{right}$  de la probabilité d'identifier les autres lettres de la séquence suivant leur excentricité à gauche (*left*) ou à droite de la fixation (*right*), et de la longueur  $l$  de ce mot.

Si le profil de réponse calculé de cette manière s'ajuste remarquablement aux données empiriques, la hauteur des courbes théoriques reste toutefois largement en deçà des résultats observés. Cette tendance indique que le modèle sous estime le taux de reconnaissance global

des mots mesuré chez les lecteurs adultes. La raison en est que le modèle de Nazir et collaborateurs (1991) ne tient pas compte du fait que, dans les conditions de lecture habituelles, les procédures de traitement de l'information visuelle de bas niveau sont nécessairement secondées par l'activation de représentations orthographiques conservées en mémoire. Ces limites ont été dépassées grâce aux récentes révisions engagées par Kajii et Osaka (2000) et poursuivies par Benboutayab (2004), qui conceptualisent avec précision l'intervention des connaissances lexicales en cas de codage parcellaire des informations visuelles soumises à l'entrée du système.

### I.3.2 L'intégration des paramètres lexicaux : le modèle CLIP (Kajii & Osaka, 2000)

Dans ce contexte, l'identification visuelle des mots est supposée procéder des étapes suivantes. En première instance, chaque mot écrit rencontré permet la création d'un pattern visuel codant l'identité et la position abstraite des lettres perçues. Ce pattern, labellisé « CLIP » (*Code for Letter Identity and Position in Word*), est susceptible, suivant les cas, de comprendre la totalité ou une partie seulement des lettres de l'input, on parlera alors respectivement de CLIP total ou de CLIP partiel. A l'extrême, le CLIP nul peut être rencontré dans les conditions où aucune des lettres de la séquence présentée n'a pu être identifiée. A titre illustratif, la Figure 3 détaille les 32 CLIPs susceptibles d'être encodés par le système visuel en réponse à la présentation du mot TABLE. De manière plus générale, un mot de  $i$  lettres peut être à l'origine de la création de  $2^i$  CLIPs distincts.

| TABLE (1) | ***** (2) |
|-----------|-----------|
| *ABLE     | T****     |
| T*BLE     | *A***     |
| TA*LE     | **B**     |
| TAB*E     | ***L*     |
| TABL*     | ****E     |
| **BLE     | ***LE     |
| *A*LE     | **B*E     |
| *AB*E     | **BL*     |
| *ABL*     | *A**E     |
| T**LE     | *A*L*     |
| T*B*E     | *AB**     |
| T*BL*     | T***E     |
| TA**E     | T**L*     |
| TA*L*     | T*B**     |
| TAB**     | TA***     |

Figure 3. Détail des 32 CLIPs potentiellement construits sur la base de la présentation du mot de 5 lettres TABLE. Les étoiles représentent la ou les lettre(s) non identifiée(s) dans le mot. La condition (1), celle du CLIP total, où toutes les lettres de l'input ont été encodées à la bonne position représente l'unique circonstance dans laquelle la probabilité de reconnaissance d'un mot dépend entièrement de celle de ses lettres individuelles. La condition (2) est le cas du CLIP nul où aucune lettre n'a été reconnue. Toutes les autres conditions (entre 1 et 4 lettres non reconnues) représentent les CLIPs partiels. (D'après Kajii, 2000, repris par Benboutayab, 2004).

La survenue d'un CLIP total (condition 1 dans la Figure 3) représente l'unique circonstance dans laquelle la récupération d'un mot repose sur une *identification perceptive pure*, et où sa

probabilité de reconnaissance peut être calculée suivant les modalités prévues par le modèle de Nazir et collègues (1991). Tout CLIP partiel autorise quant à lui la survenue potentielle d'*inférences lexicales*, dont la contribution à l'identification d'un mot est dépendante du nombre de mots voisins activés par chaque CLIP dérivé de l'input visuel. En effet, plus un mot va entrer en compétition avec un nombre élevé de voisins et plus son identification va devenir incertaine. En accord avec les améliorations apportées par Benboutayab (2004) au fonctionnement du modèle CLIP original (Kajii & Osaka, 2000), les simulations tiennent également compte du fait que la position des lettres identifiées n'est vraisemblablement pas encodée de manière absolue dans les CLIPs. Il est donc admis que les inférences lexicales peuvent concerner des mots de taille légèrement différente de celle des stimuli cibles (Benboutayab, 2004). Le modèle est ainsi autorisé à considérer les mots de 4 et 6 lettres comme voisins potentiels des CLIPs dérivés des inputs de 5 lettres présentés. Cette manipulation permet par exemple que le candidat lexical CHAMBRE soit activé par le CLIP partiel CHA\*\*E encodé à partir du mot CHAISE (exemple emprunté à Benboutayab, 2004).

La contribution des facteurs lexicaux à l'identification globale du mot est enfin déterminée par la probabilité d'occurrence de chaque CLIP construit, laquelle dépend directement de la lisibilité des lettres constitutives de la séquence suivant la position du regard dans le mot, calculée d'après le modèle de Nazir et al. Les nombreux voisins éventuellement activés par un CLIP dont la probabilité d'occurrence est faible influenceront de manière négligeable la probabilité d'identification du mot, au contraire des quelques voisins associés à un CLIP de probabilité d'occurrence plus élevée. Signalons également que, par principe, la contribution des CLIPs contenant moins de la moitié des lettres du mot original est considérée comme négligeable pour le processus d'identification (Benboutayab, 2004). Ainsi, si l'on considère à nouveau l'exemple présenté dans la Figure 3, ce postulat implique que seuls les 15 CLIPs intégrant entre 3 et la totalité des lettres constitutives du mot TABLE soient intégrés dans le calcul de la probabilité d'identification de ce mot.

La probabilité d'identifier un mot  $P(W)$  suivant les principes du modèle CLIP (Kajii & Osaka, 2000) est ainsi estimée par l'équation 2 :

$$P(W) = \sum_{i=1}^n [P(C_i) \cdot P(W|C_i)]$$

Equation 2 : où  $P(C_i)$  représente la probabilité d'occurrence du CLIP  $C_i$  (parmi les  $n$  CLIPs possibles un seul CLIP peut avoir lieu à la fois),  $P(W|C_i)$  est la probabilité conditionnelle de prédire le mot complet à partir du CLIP  $C_i$ . La probabilité conditionnelle de B étant donné A notée  $(B|A)$  est définie comme la probabilité pour que l'évènement B se produise étant donné que l'évènement A s'est produit.

La probabilité d'occurrence d'un CLIP correspond à la probabilité d'identifier certaines lettres contenues dans la séquence et de ne pas identifier les lettres restantes. Si l'on appelle  $D_i$  l'ensemble des indices des lettres reconnues, cette probabilité peut s'écrire :

$$P(C_i) = \prod_{j \notin D_i} (1 - P(L_j)) \cdot \prod_{i \in D_i} (P(L_i)) \quad \text{avec } 1 < i < 1 \quad \text{et } 1 < j < 1$$

Equation 3 : où  $L$  représente l'une des lettres constitutives d'un mot.

Si l'on se réfère aux probabilités de reconnaissance des lettres calculées plus haut (d'après Nazir et al., 1991, voir Tableau de la Figure 1), la probabilité d'occurrence du CLIP T\*B\*E (choisi au hasard parmi les 32 CLIPS de la Figure 3) lorsque TABLE est fixé sur la première lettre s'élèvera donc à :

$$P(L_1 \bar{L}_2 \bar{L}_3 \bar{L}_4 L_5) = 1 \times (1 - .97) \times .94 \times (1 - .91) \times .88 = .002$$

Equation 4 : probabilité de reconnaissance des lettres constitutives d'un mot fixé sur la première lettre

Enfin, la probabilité conditionnelle de prédire le mot complet à partir du CLIP  $C_i$  dépend du nombre de mots partageant les mêmes lettres que le CLIP, de telle manière que l'augmentation du nombre de ces candidats lexicaux complexifie l'identification du mot cible. Cette probabilité est estimée suivant l'équation :

$$P\langle W | C_i \rangle = \frac{1}{N(C_i)} \quad \text{avec } N(C_i) \neq 0$$

Equation 5 : où  $N(C_i)$  représente le nombre de mots partageant les mêmes lettres que le CLIP  $C_i$ . Attendu que tout CLIP dérivé d'un mot connu est au minimum censé activer la représentation du mot cible en mémoire, le terme  $N(C_i)$  ne peut se voir attribuer de valeur nulle. Dans les conditions particulières où le mot présenté ne possède aucun voisin parmi les connaissances du participant,  $N(C_i)$  prend la valeur de 1, de manière à rendre compte que la probabilité d'identifier un mot même perçu de manière incomplète se trouve à son maximum lorsque ce mot ne peut s'apparier qu'à lui-même en mémoire.

En résumé, le modèle CLIP laisse dépendre le succès de l'identification des mots écrits de l'intervention conjointe de stratégies efficaces d'extraction « on-line » des informations visuelles portées par le percept considéré et de procédures de réinvestissement des connaissances lexicales préalablement encodées. Plus précisément, lorsque les conditions de présentation d'un stimulus ne permettent pas l'identification précise de ses lettres constitutives, les chances d'identifier le mot sont déterminées par le nombre de mots connus dont la structure orthographique est compatible avec l'item cible. La valeur prédictive du modèle CLIP a précédemment été établie avec succès auprès de participants adultes (Benboutayab, 2004), et d'enfants en cours d'apprentissage de la lecture (Decoppet, 2005).

## II PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

Les recherches antérieures conduites par Aghababian et Nazir (2000 ; Aghababian & Nazir, 2001 ; Aghababian, Nazir, Lançon & Tardy 2001 et voir aussi Michalon, 2003) ont démontré que la mesure du taux de reconnaissance correcte suivant la position du regard imposée dans le mot représentait une technique d'évaluation fiable de l'installation des stratégies d'extraction d'information à partir de l'écrit. Les résultats obtenus ont notamment établi que, dès la fin du CP, les lecteurs débutants, à l'image des experts, étaient capables de prêter attention à l'ensemble des lettres constitutives du mot, que celui-ci soit court ou long. De fait, les performances des adultes ne se distinguaient de celles des enfants que sur des critères quantitatifs. Par contraste, Aghababian et Nazir (2000) ont fait état de performances quantitativement et qualitativement altérées chez les enfants en difficulté de lecture. En particulier, une courbe atypique d'Effet de Position du Regard (EPR par la suite), en V inversé, a été obtenue lors du traitement de mots de 6 lettres (voir également Ducrot, Lété, Sprenger-Charolles, Pynte & Billard, 2003, pour des résultats similaires auprès d'enfants dyslexiques). L'accentuation de la pente de part et d'autre de la position de fixation optimale a été interprétée comme le reflet des limites imposées par un empan perceptif anormalement étroit (Aghababian, 1998 ; Aghababian & Nazir, 2000). Lorsque, en effet, la région d'extraction des informations au cours d'une fixation est réduite à 2 ou 3 caractères de part et d'autre de la fixation, une partie des lettres constitutives des mots longs excède nécessairement les frontières de l'empan. Dans ces conditions, seules les fixations centrales préservent une extraction de données suffisante pour identifier le mot, et la performance chute de manière radicale dès que l'œil quitte sa position optimale. Il est important de noter que l'obtention d'un tel profil ne peut être associé à un défaut d'intégration des règles de correspondances grapho-phonémiques. A défaut de lecture analytique, les mots ne peuvent être reconnus que si le regard se pose sur des traits visuels saillants. Ces indices se répartissant aléatoirement dans les mots, Aghababian et al. (2001) ont montré que, dans ce contexte, une courbe d'EPR plate était obtenue.

L'ensemble de ces résultats encourage à conclure que les variations de hauteur de la courbe d'effet de position du regard dans le mot reflètent les différents degrés d'automatisation de la lecture, et tout particulièrement la contribution de plus en plus importante des connaissances lexicales. L'altération de l'allure prototypique de la courbe révèle en revanche une faiblesse dans la construction des mécanismes sous tendant le

traitement de l'écrit (Aghababian & Nazir, 2000, Aghababian et al., 2001 et voir aussi Michalon, 2003 ; Montant, Nazir & Poncet, 1998). En cela, le paradigme de position variable du regard dans le mot est susceptible de constituer un outil de dépistage précoce des troubles de la lecture. La présente étude a pour objectif de proposer une première adaptation de la démarche développée par Aghababian et Nazir (2000, 2001) au repérage des troubles d'extraction de l'information visuelle dans le diagnostic des dyslexies. Dans ce but, les hypothèses suivantes seront évaluées :

- En accord avec les travaux de Valdois et collaborateurs (Valdois et al., 2003 ; Bosse et al., sous presse mais voir aussi Castles & M. Coltheart, 1996), nous posons que certains enfants sont porteurs de difficultés durables d'acquisition de la lecture, non explicables par un déficit phonologique. Ces enfants, référencés comme dyslexiques de surface, ont intégré le principe des correspondances grapho-phonémiques. Ils seraient donc capables de traiter en parallèle les différentes lettres des mots pour tenter d'en extraire un maximum d'informations. **Leurs performances devraient donc être affectées par les positions de fixations imposées dans le mot. A l'instar des normaux lecteurs, ces enfants devraient en particulier traiter plus efficacement les stimuli présentés en position optimale.**

- Bien qu'ayant compris la logique de la lecture, les dyslexiques de surface présenteraient une altération des stratégies d'extraction de l'information visuelle, mesurées par la technique position variable du regard. Des modifications quantitatives et qualitatives devraient ainsi être observées comparativement à la courbe EPR établie pour le groupe de normaux lecteurs. **Dans le cas où ces difficultés seraient liées à une réduction de l'empan perceptif, les enfants dyslexiques devraient présenter des profils de performance proches de ceux établis par Aghababian et Nazir (2000) pour leur groupe de lecteurs faibles.**

- Finalement, nous proposons que la diminution du taux d'identification global des mots observée chez les dyslexiques s'explique également par une réduction de la contribution des connaissances orthographiques au processus d'identification. Les difficultés de traitement des formes écrites empêcheraient la construction de percepts visuels adéquats et limiteraient la possibilité d'apparier le stimulus à une représentation correcte conservée en mémoire. Ce déficit nuirait parallèlement à la création et au renforcement des représentations stockées dans le lexique orthographique. **De fait, la déperdition d'informations visuelles serait moins efficacement compensée par les inférences lexicales, en regard des prédictions du modèle CLIP (Kajii & Osaka, 2000), basées sur une estimation des connaissances correspondant à celles attendues pour l'âge lexical de ces enfants.**

## **III EXPERIMENTATION**

La première partie de nos travaux sera consacrée à l'évaluation empirique des postulats décrits plus haut, via la confrontation d'enfants normaux lecteurs et dyslexiques de surface à une tâche d'identification de mots présentés suivant la technique de position variable du regard. Dans une seconde partie, la contribution du savoir lexical aux profils de réponses obtenus sera examinée au moyen des simulations théoriques du modèle CLIP.

### **III.1 Matériel et Méthode**

#### **III.1.1 Participants**

##### **III.1.1.1 Groupe témoin**

Le groupe témoin se composait de vingt élèves de CE2 (9 garçons, 11 filles d'âge moyen 8 ans 2 mois) ayant volontairement pris part à l'expérience. Tous les participants étaient droitiers, de langue maternelle française, avec vue normale ou corrigée. Les enfants étaient scolarisés au sein des écoles publiques Montbrillant (Lyon 3<sup>ème</sup>) ou Anatole France (Villeurbanne), et seuls les élèves sans antécédents de rééducation orthophonique et considérés comme normaux ou bons lecteurs par leurs professeurs ont participé à l'étude. Les enfants ont été interrogés au cours des premières semaines de la rentrée de CE2. Leur niveau lexical au moment du test correspondait donc à celui acquis à la fin de l'année scolaire précédente (i.e. CE1 juillet, équivalant à un âge lexique de 8 ans).

##### **III.1.1.2 Groupe dyslexique**

Le groupe des enfants dyslexiques se composait de 9 garçons, âgés en moyenne de 10 ans et 6 mois, sélectionnés de manière à posséder un âge lexique équivalent à celui des enfants du groupe témoin. D'après Bosse et al. (sous presse), il est communément admis que l'établissement d'une relation causale entre un échec à une tâche donnée et un déficit cognitif sous-jacent à la dyslexie nécessite une comparaison entre enfants appariés sur le plan du niveau de lecture plutôt que de l'âge chronologique. Bryant et Impey (1986 ; cité par Bosse et

al., sous presse) soutiennent en effet que dans le cas où les enfants dyslexiques présentent un niveau de performance inférieur à celui d'enfants d'âge lexicale équivalent, l'abaissement des performances est attribuable aux facteurs déviants responsables des difficultés d'apprentissage de la lecture et non à un simple niveau de lecture faible.

Sept enfants dyslexiques nous ont été adressés par le Centre de Référence pour les troubles des apprentissages de l'Hôpital Debrousse de Lyon, où ils ont bénéficié d'un bilan neuropsychologique. Les deux autres enfants nous ont été présentés par des orthophonistes exerçant en cabinet libéral dans la région lyonnaise. Pour tous les enfants, les bilans orthophoniques et/ou neuropsychologiques ont permis aux professionnels concernés de poser un diagnostic de dyslexie développementale de type surface, en regard des critères détaillés ci-dessous.

#### III.1.1.2.1 Critères d'exclusion

Le DSM IV-TR (2004) prévoit que le diagnostic de dyslexie ne puisse être posé que dans le cas d'un trouble isolé du langage écrit, ne pouvant s'expliquer par une altération des capacités intellectuelles ou de la motivation, un trouble psychiatrique, neurologique ou sensoriel, un milieu socio-culturel peu stimulant ou une scolarisation inadéquate.

D'après les données recueillies au cours de l'anamnèse, les enfants sélectionnés ont tous connu un développement normal à la fois en langage oral et au niveau psychomoteur. Ils étaient droitiers, de langue maternelle française et aucun cas de bilinguisme n'était relevé dans leur famille. Les bilans ophtalmologiques et oto-rhino-laryngologiques ont permis d'écarter la présence de troubles visuel et auditif périphériques. Toutefois, la majorité des enfants a bénéficié de séances de rééducation orthoptique. Au moment de la rencontre avec ces enfants, ces rééducations étaient achevées et avaient permis une bonne récupération des troubles neurovisuels. Les enfants concernés par notre étude n'étaient porteurs d'aucun trouble neurologique, à l'exception de S1, suivi il y a plusieurs années pour une épilepsie-absences aujourd'hui guérie. Pour les 7 enfants pris en charge par le service de neuropsychologie du centre Debrousse, les résultats obtenus à l'échelle de Conners (1998), remplie par les parents et les enseignants, ont permis d'exclure tout déficit de l'attention / hyperactivité (TDA-H). Par ailleurs, on ne relevait aucune atteinte psychologique particulière pour l'ensemble du groupe. Finalement, les tests psychométriques effectués par 6 des 9 enfants ont montré une efficacité intellectuelle normale.

### III.1.1.2.2 Estimation du niveau lexical

L'âge de lecture de chaque enfant dyslexique a été évalué grâce au test de l'Alouette (Lefavrais, 1967), au cours du bilan orthophonique pratiqué par les professionnels durant le dernier trimestre de l'année 2006. Pour un enfant (S9), dont l'évaluation de l'âge lexique datait de plus d'un an, un retest a été pratiqué par nos soins afin d'obtenir un score à l'Alouette correspondant à ses aptitudes actuelles. Conformément aux critères d'inclusion du trouble structurel de type dyslexie détaillés dans la DSM IV-TR (2004), chaque enfant connaissait un retard de lecture d'au moins 18 mois. L'âge lexique moyen des enfants interrogés a été estimé à 7 ans 8 mois et équivalait à un niveau scolaire de CE1 mars.

L'âge chronologique, l'âge de lecture, le retard en lecture par rapport à l'âge chronologique, le niveau scolaire et d'éventuels redoublements ont été reportés pour les 9 enfants dans le Tableau 1.

|           | Age chrono-<br>logique | Age de lecture | Retard en<br>lecture | Niveau scolaire  | Redoublement |
|-----------|------------------------|----------------|----------------------|------------------|--------------|
| <b>S1</b> | 10;04                  | 8;03           | 2;01                 | CM2              | NON          |
| <b>S2</b> | 11;01                  | 8;06           | 2;07                 | CM2              | CE1          |
| <b>S3</b> | 9;08                   | 7;02           | 2;06                 | CM1              | NON          |
| <b>S4</b> | 12;01                  | 7;07           | 4;06                 | 6 <sup>ème</sup> | NON          |
| <b>S5</b> | 10;05                  | 7;03           | 3;02                 | CM2              | NON          |
| <b>S6</b> | 9;02                   | 7;02           | 2;00                 | CM1              | NON          |
| <b>S7</b> | 9;03                   | 7;09           | 1;06                 | CM1              | NON          |
| <b>S8</b> | 10;06                  | 7;03           | 3;03                 | CM2              | NON          |
| <b>S9</b> | 10;01                  | 8;00           | 2;01                 | CM1              | NON          |

Tableau 1. Informations relatives aux enfants dyslexiques participant à la présente étude. Pour chaque enfant, le tableau renseigne sur le niveau scolaire, l'âge chronologique (en années ; mois), l'âge de lecture (en années ; mois, selon le test de l'Alouette), le retard en lecture (en années ; mois) et les éventuels redoublements de classe.

Il faut noter qu'en raison de la priorité accordée à la pureté des tableaux de dyslexie (voir paragraphe suivant), il n'a pas été possible d'apparier strictement les enfants interrogés sur le plan de leur âge lexique, évalué d'après l'Alouette (Lefavrais, 1967). Ainsi que le montre le Tableau 1, le niveau de lecture de ces enfants oscillait entre 7 ans 2 mois et 8 ans 6 mois, pour un âge lexique moyen évalué à 7 ans 8 mois (i.e. niveau mars CE1). Un écart de 4 mois a par ailleurs été constaté entre l'âge lexical moyen calculé pour les participants dyslexiques et le niveau lexical théorique des normaux lecteurs, estimé à 8 ans (i.e. niveau CE1 juillet). Le test T de comparaison de moyenne observée et théorique a révélé que cet écart était non significatif [ $t=1,998$  ;  $p=.0808$  ns]. Les enfants dyslexiques et normaux lecteurs étaient donc comparables du point de vue de leur niveau lexical, estimé par l'Alouette.

### III.1.1.2.3 Description de la spécificité du trouble

#### *III.1.1.2.3.1 Profil comportemental en lecture et en écriture*

Plus de la moitié des enfants interrogés présentaient des antécédents familiaux de troubles du langage écrit. Ainsi, au moins une personne de leur entourage proche rencontrait ou avait rencontré des difficultés en lecture et/ou orthographe.

Pour chaque enfant dyslexique, le profil en lecture et en écriture a été établi au moyen d'épreuves spécifiques, permettant de compléter les critères négatifs des classifications médicales (DSM IV-TR), qui ne rendaient pas compte de la spécificité des troubles du langage écrit. Ces épreuves précisaient également le test de lecture traditionnel (Alouette ; Lefavrais, 1967), qui fournissait uniquement des indicateurs de performances globaux. Plus précisément, les professionnels sollicités ont soumis les enfants dyslexiques inclus dans l'étude au Bilan Analytique du Langage Ecrit (B.A.L.E, non publié, voir description dans Jacquier-Roux, Valdois, Zorman, Lequette & Pouget, 2005). Cette batterie, étalonnée auprès de 536 élèves de primaire, permet de diagnostiquer précisément l'intensité et le type de dyslexie, en référence aux modèles cognitifs du langage oral et écrit (Gombert et al., 2000 ; Share, 1995 ; 1999). Les épreuves proposées par le B.A.L.E couvrent un large éventail de fonctions : langage oral, lecture, orthographe, mémoire, capacités métaphonologiques et traitement visuel. Le caractère fiable, sensible et reproductible des diagnostics de dyslexie posés d'après cette batterie a été établi à l'issue de l'évaluation de la qualité des examens pratiqués auprès d'une centaine d'enfants, par plusieurs médecins scolaires (Jacquier-Roux et al., 2005). La liste détaillée des épreuves du B.A.L.E est présentée dans le Tableau 2. A noter que le profil de lecture de l'un des 9 enfants inclus dans la présente recherche (S9) a initialement été établi sur la base d'une version simplifiée du B.A.L.E, l'Odedys, qui explore les mêmes fonctions que le B.A.L.E, à partir d'épreuves plus courtes et moins nombreuses. Ce bilan initial a été précisé en seconde intention grâce à certaines épreuves complémentaires du B.A.L.E, concernant notamment les aspects métaphonologiques, visuels et attentionnels (i.e. reconnaissance de figures enchevêtrées, reproduction de figures, repérage d'indices verbaux parmi des distracteurs et copie).

| Langage oral :  | Lecture   |
|---|---|
| *Répétition de mots<br>*Répétition de logatomes<br>Répétition de pseudo-mots<br>Fluence phonologique en P   | *Alouette (Lefavrais, 1967)<br>*Lecture de mots réguliers et irréguliers fréquents<br>*Lecture de mots réguliers et irréguliers rares<br>*Lecture de non-mots simples et complexes  |
| Ecriture  | Epreuves cognitives   |
| *Dictée de mots réguliers simples,<br>Dictée de mots réguliers complexes<br>*Dictée de mots irréguliers<br>*Dictée de non-mots bisyllabiques<br>Dictée de non-mots trisyllabiques | <u>Epreuves méta-phonologique</u><br>*Suppression du phonème initial<br>Suppression du phonème final<br>Suppression de la syllabe initiale<br>Reconnaissance de la consonne initiale<br>Rimes<br>*Acronymes phonémiques<br>Segmentation phonémique<br><u>Mémoire à court terme et de travail</u><br>*Empan de chiffres endroit / envers<br><u>Epreuves attentionnelles et visuelles</u><br>*Barrage des cloches en 2 minutes (Gauthier, Dehaut & Joannette, 1989)<br>Figures enchevêtrées<br>Reproduction de figures<br><u>Epreuves attentionnelles et visuo-attentionnelles</u><br>*Comparaison de suites de lettres<br>Recherche d'indices verbaux en colonne et anarchiques<br>*Copie « La baleine paresseuse » (Decourchelle, 2002) |

Tableau 2. Liste des épreuves du B.A.L.E. Les épreuves précédées d'une astérisque sont celles dont le principe a été repris dans l'Odédys (Jacquier-Roux et al., 2005), le matériel utilisé n'étant cependant pas toujours strictement identique dans les deux batteries.

D'après Jacquier-Roux et al. (2005), l'atteinte de la voie lexicale de lecture, caractéristique de la dyslexie de surface, se manifeste au niveau comportemental par un abaissement significatif de la précision de lecture des mots irréguliers, en raison de nombreuses erreurs de régularisation, et par un allongement du temps de lecture des mots réguliers et irréguliers. La lecture des pseudo-mots est relativement préservée et les éventuelles erreurs repérables ne résultent pas de confusions entre sons proches (t/d ; k/g ; f/v ; s/z ; ch/j). Un déficit de la procédure lexicale d'écriture se traduit par une altération majeure des performances en dictée de mots irréguliers contrastant avec une écriture de mots réguliers et pseudo-mots relativement préservée, à condition que ceux-ci ne comportent pas de graphies contextuelles. Les erreurs orthographiques relevées sont très majoritairement phonologiquement plausibles (exemple : fusil → fusi).

Conformément aux critères détaillés ci-dessus, les résultats des enfants interrogés aux différentes épreuves de lecture et d'écriture ont permis de poser l'hypothèse d'une altération principale de la voie lexicale. Les observations recueillies au cours des passations sont consignées dans le Tableau 3.

| SUJETS | LECTURE                               |   | ECRITURE                               |         | CONCLUSION                  |
|--------|---------------------------------------|---|--|---------|-----------------------------|
|        | Effets                                | Erreurs   | Types d'items préservés                | Erreurs | Principale voie déficitaire |
| S1     | Fréquence<br>Régularité<br>Lexicalité | Régularisations<br>Confusions de phonèmes<br>Err.contextuelles<br>Ajouts/omissions de phonèmes      | Non-mots                               | EPP     | Lexicale                    |
| S2     | Fréquence<br>Régularité               | Régularisations<br>Confusions de phonèmes<br>Err.contextuelles<br>Omissions de phonèmes             | Non-mots                               | EPP     | Lexicale                    |
| S3     | Régularité                            | Régularisations   | Non-mots                               | EPP     | Lexicale                    |
| S4     | Fréquence<br>Régularité               | Régularisations<br>Confusions de phonèmes<br>Err.contextuelles<br>Omissions, inversions de phonèmes | Non-mots<br>trissyllabiques            | EPP     | Lexicale                    |
| S5     | Régularité                            | Régularisations   | Non-mots                               | EPP     | Lexicale                    |
| S6     | Fréquence<br>Régularité               | Régularisations<br>Err.contextuelles<br>Omissions de phonèmes                                       | Non-mots                               | EPP     | Lexicale                    |
| S7     | Régularité                            | Régularisations<br>Err.contextuelles<br>Paralexies visuelles  | Non-mots                               | EPP     | Lexicale                    |
| S8     | Fréquence<br>Régularité               | Régularisations<br>Confusions de phonèmes<br>Err.contextuelles<br>Omissions, ajouts de phonèmes     | Réguliers<br>Non-mots<br>bisyllabiques | EPP     | Lexicale                    |
| S9     | Régularité                            | Régularisations<br>Confusions de phonèmes<br>Err.contextuelles<br>Omissions de phonèmes             | Non-mots                               | EPP     | Lexicale                    |

Tableau 3. Lors des tâches de lecture et d'écriture du B.A.L.E, les effets et les types d'erreurs effectués par les participants ont été relevés afin de déterminer la voie de lecture déficitaire. Le Tableau 2 décrit les résultats obtenus par les 9 enfants testés. Les épreuves de lecture ont mis en évidence de meilleurs scores sur les mots réguliers et fréquents (Effet de Fréquence et de Régularité). Les erreurs de lecture se traduisaient principalement par des régularisations et des erreurs sur les graphies contextuelles, témoignant d'un lexique orthographique faible. L'écriture des non mots était systématiquement préservée, tandis que les erreurs commises sur les mots étaient phonologiquement plausibles (EPP) dans leur très grande majorité. En accord avec les professionnels concernés, ces profils de réponses ont été interprétés en faveur d'une atteinte principale de la voie lexicale du traitement du langage écrit.

Les enfants dyslexiques interrogés utilisaient donc essentiellement leur voie phonologique, en compensation d'une voie lexicale peu efficiente. Du point de vue comportemental, ces résultats sont en faveur d'une dyslexie de type surface. Toutefois, pour confirmer le déficit de la voie lexicale et objectiver le diagnostic de dyslexie plutôt que celui d'un retard de lecture, il est nécessaire de rechercher le trouble cognitif sous-jacent.

#### *III.1.1.2.3.2 Déficit cognitif sous-jacent*

Afin d'écarter l'hypothèse d'un trouble phonologique, tous les enfants interrogés ont été confrontés aux épreuves métaphonologiques du B.A.L.E : suppression de la syllabe initiale,

suppression du phonème initial, suppression du dernier phonème, segmentation phonémique, fusion phonémique, reconnaissance de la consonne initiale et jugement de rimes. L'ensemble des enfants a obtenu des scores satisfaisants pour au moins 5 épreuves sur les 7 proposées. En outre, tous les enfants interrogés possédaient de bonnes capacités de mémoire verbale à court terme et de mémoire de travail, évaluées par les empans de chiffres direct et inversé. Ces performances fournissent des arguments pour écarter un trouble phonologique sous-jacent.

En revanche, ces enfants présentaient une altération des traitements visuels, non imputable à un déficit périphérique. Ces difficultés se manifestaient particulièrement dans les tâches de comparaison de séquences de lettres et d'identification des cibles parmi des distracteurs. La présence d'un trouble visuo-attentionnel a en outre été objectivée par l'épreuve du Report Global élaboré par l'équipe du laboratoire Cogni-Sciences de l'IUFM de Grenoble (voir Bosse et al., sous presse pour une description de ce protocole). La tâche de Report Global est une épreuve d'attention partagée qui permet d'estimer la quantité d'information visuelle pouvant être extraite en parallèle lors d'une fixation unique. Au cours de la passation de ce test informatisé, une séquence de 5 consonnes apparaissait pendant 200 ms à l'écran, afin d'éviter toute saccade oculaire. Après la disparition de la séquence, il était demandé à l'enfant de rappeler l'ensemble des lettres. Les résultats par score et/ou par écart-type obtenus pour chacune des 5 lettres présentées à notre population d'enfants dyslexiques ont été reportés dans le Tableau 4. Les performances abaissées à cette tâche signalent des capacités limitées pour partager l'attention entre des cibles multiples présentées simultanément (Bosse et al., sous presse).

|           | 1 <sup>ère</sup> lettre |              | 2 <sup>nde</sup> lettre |              | 3 <sup>ème</sup> lettre |              | 4 <sup>ème</sup> lettre |               | 5 <sup>ème</sup> lettre |               | Total        | Trouble avéré                  |
|-----------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------|--------------|--------------------------------|
|           | Score /20               | Ecart-type    | Score /20               | Ecart-type    | Ecart-type   |                                |
| <b>S1</b> |                         | +1           |                         | -1           |                         | -1.4         |                         | -1.2          |                         | <b>-4.1</b>   | -1.2         | OUI                            |
| <b>S2</b> | 20                      | +1           | 20                      | +1.4         | 19                      | +0.6         | 19                      | +0.9          | 15                      | <b>-4.1</b>   | +0.8         | OUI<br>(pas de trouble majeur) |
| <b>S3</b> | 19                      | -0.65        | 16                      | <b>-1.89</b> | 18                      | 0.54         | 9                       | -0.75         | 7                       | -1.17         | -1.43        | OUI                            |
| <b>S4</b> | 20                      | +1           | 19                      | +0.2         | 11                      | <b>-7.4</b>  | 3                       | <b>-9.9</b>   | 1                       | -19           | <b>-6.7</b>  | OUI                            |
| <b>S5</b> |                         | -0.2         |                         | -2.          |                         | <b>-8.4</b>  |                         | <b>-5.9</b>   |                         | <b>-9.4</b>   | <b>-4.8</b>  | OUI                            |
| <b>S6</b> | 20                      | +1           | 14                      | <b>-5.7</b>  | 17                      | -1.4         | 10                      | <b>-5.2</b>   | 10                      | <b>-9.4</b>   | <b>-3.8</b>  | OUI                            |
| <b>S7</b> | 18                      | -1.3         | 19                      | +0.24        | 17                      | -1.4         | 1                       | <b>-11.35</b> | 2                       | <b>-17.89</b> | <b>-2.05</b> | OUI                            |
| <b>S8</b> | 17                      | <b>-3.77</b> | 16                      | <b>-3.39</b> | 10                      | <b>-3.58</b> | 6                       | <b>-2.07</b>  | 8                       | -1.46         | <b>-1.93</b> | OUI                            |
| <b>S9</b> | 20                      | 0,6          | 18                      | -1.3         | 18                      | +0.04        | 13                      | -0.3          | 10                      | -1            | <b>-1.34</b> | OUI                            |

Tableau 4. Le tableau rapporte, pour chacun des 9 enfants dyslexiques, leurs scores et écart-types relatifs à l'identification de chacune des 5 lettres composant les séquences présentées. L'écart-type correspondant à l'identification globale des séquences de consonnes est indiqué dans l'avant dernière colonne. Tous les enfants présentaient un score d'identification de la 5<sup>e</sup> lettre et d'identification global des séquences abaissé par rapport à la norme. Ces résultats sont en faveur d'un déficit visuo-attentionnel.

Au vu des résultats recueillis au cours du bilan, les enfants intégrés dans notre étude présentaient donc un profil de dyslexie de surface, tant au niveau des manifestations de surface que sur le plan du déficit cognitif sous-jacent. Ce diagnostic a en effet été confirmé par la mise en évidence d'un déficit visuo-attentionnel plus ou moins marqué dans la tâche de Report Global et par l'absence de trouble phonologique avéré.

### III.1.2 Matériel

La liste expérimentale comprenait 120 items, dont 30 mots de 5 lettres, 30 mots de 7 lettres et 60 pseudo-mots non homophones de mots réels de longueur équivalente. La liste complète des stimuli présentés dans cette expérience a été reportée dans l'Annexe 1.

#### III.1.2.1 Sélection des mots

L'ensemble des mots inclus dans l'expérience a été extrait de la base de donnée lexicale *Manulex*, adressée aux apprentis lecteurs (Lété, Sprenger-Charolles & Colé, 2004). *Manulex* fournit des normes de fréquence d'occurrence par million pour 48 886 mots, fondées sur l'analyse de 54 manuels scolaires utilisés entre la première et la dernière année d'école primaire, et pondérées par un indice de dispersion des items lexicaux à travers les ouvrages considérés. Les données recueillies procurent ainsi un aperçu fiable de l'étendue du

vocabulaire des enfants scolarisés en CP, en CE1, entre le CE2 et le CM2, puis, finalement, à l'issue des 5 années d'école primaire. Des indices de fréquence standard – directement dérivés de la fréquence d'occurrence pondérée des mots – sont également fournis, permettant une sélection précise de mots de haute ou basse fréquence. Les valeurs moyennes de ces indices s'élèvent ainsi respectivement à 49 et 46 occurrences par million en CP et en CE1. De manière à optimiser les chances pour que les mots manipulés soient associés à une représentation orthographique dans la mémoire d'enfants scolarisés en début de CE2, seuls les items de fréquence d'occurrence supérieure à l'une *et* l'autre de ces valeurs de référence (ou, à défaut, à l'une *ou* l'autre de ces valeurs dans une minorité de cas) ont été sélectionnés. L'utilisation d'items de fréquence d'occurrence élevée en CP augmentait par ailleurs la probabilité pour que les mots retenus aient été acquis précocement, l'influence de l'âge d'acquisition par delà celle de la fréquence ayant été démontrée par de nombreuses études, conduites dans divers systèmes linguistiques (voir par exemple V. Coltheart, Laxon & Keating, 1988 ; Ellis & Morrison, 1998 pour la langue anglaise, Brysbaert, Lange & Van Wijnendaele, 2000 pour le hollandais, Izura & Ellis, 2002 pour l'espagnol et Bonin, Fayol & Chalard, 2001 ; Nazir, Decoppet & Aghababian, 2003 pour le français).

Tous les mots sélectionnés étaient fortement consistants sur le plan phono-graphémique (i.e complexité orthographique faible), selon les normes récemment publiées dans la base *Manulex Infra* (Peereman, Lété & Sprenger-Charolles, sous presse). Il convient néanmoins de remarquer que la consistance grapho-phonémique des mots de 7 lettres – bien que de valeur élevée (i.e. 90.61 pour une consistance parfaite estimée à 100) – est restée significativement inférieure à celle des mots de 5 lettres. Une analyse fine de la distribution de la fréquence des appariements phono-graphémiques suivant la position des unités dans les mots (i.e. *initiale*, *médiane* ou *finale*) a révélé que cette différence était principalement causée par l'abaissement du degré de consistance des unités situées en fin de mot. Cette tendance semble être une simple conséquence de la morphologie dérivationnelle du français, qui augmente la probabilité de trouver des fins de mots silencieuses dans les mots longs, accentuant de fait le degré d'ambiguïté de la transcription graphique (Peereman, et al., sous presse). En effet, 33 % des mots de 7 lettres possédaient un « e » final inaudible à l'oral (exemple : *marmite*, *tartine...*), contre 20% des mots de 5 lettres.

Les mots de 5 et 7 lettres ont finalement fait l'objet d'un appariement rigoureux sur le plan de la consistance grapho-phonémique, de la catégorie grammaticale (l'ensemble des items sélectionnés étaient des noms) et de la fréquence du voisinage orthographique, d'après les normes disponibles dans *Manulex Infra* (Peereman et al., sous presse).

Le détail des valeurs moyennes prises par chaque facteur lexical examiné a été reporté dans le Tableau 5. Les données sont présentées séparément pour les mots de 5 et 7 lettres. Des informations supplémentaires figurent dans l'Annexe 1.

|                | Mots 5 Lettres | Mots 7 Lettres | Moyenne | Statistiques                     |
|----------------|----------------|----------------|---------|----------------------------------|
| Freq CP        | 70.69          | 42.36          | 56.53   | <i>ns</i> F(1,58)=2.158, p=.1473 |
| Freq CE1       | 67.31          | 34.88          | 51.27   | <i>ns</i> F(1,58)=1.606, p=.2102 |
| FC CP/CE1      | .05            | -.05           | 0.00    | <i>ns</i> F(1,58)=2.257, p=.1385 |
| Freq Vois      | 24.50          | 19.60          | 22.05   | <i>ns</i> F(1,58)=.144, p=.7060  |
| Freq syllabes  | 2448.81        | 1151.01        | 1799.92 | <i>ns</i> F(1,58)=1.455, p=.2326 |
| <b>Cons.PG</b> |                |                |         |                                  |
| Globale        | 94.77          | 90.61          | 92.70   | <i>s</i> F(1,58)=12.421, p=.0008 |
| Initiale       | 95.21          | 91.46          | 93.34   | <i>ns</i> F(1,58)=1.010, p=.3190 |
| Mediane        | 93.60          | 92.17          | 92.89   | <i>ns</i> F(1,58)=1.079, p=.3032 |
| Finale         | 97.20          | 81.10          | 89.15   | <i>s</i> F(1,58)=8.724, p=.0045  |
| <b>Cons.GP</b> |                |                |         |                                  |
| Globale        | 85.49          | 85.32          | 85.41   | <i>ns</i> F(1,58)=.008, p=.9035  |
| Initiale       | 99.31          | 97.53          | 98.42   | <i>ns</i> F(1,58)=1.805, p=.1843 |
| Médiane        | 78.53          | 82.85          | 80.69   | <i>ns</i> F(1,58)=1.618, p=.2085 |
| Finale         | 84.01          | 79.44          | 81.73   | <i>ns</i> F(1,58)=.502, p=.4816  |

**Tableau 5.** Le tableau présente, pour les mots de 5 et de 7 lettres, les valeurs moyennes de fréquence lexicale en CP (*Freq CP*), en CE1 (*Freq CE1*), de fréquence cumulée entre le CP et le CE1 (obtenues en additionnant les *z scores* correspondant aux fréquences respectives des mots en CP et CE1), de fréquence des voisins orthographiques (*Freq Vois*), de fréquence des syllabes (*Freq syllabes*), de consistance phono-graphémique (*Cons PG*, calculée pour les parties *initiales*, *médianes*, *finale*s et pour le mot dans sa *globalité*) et de consistance grapho-phonémique (*Cons GP*, calculée pour les parties *initiales*, *médianes*, *finale*s et pour le mot dans sa *globalité*). L'ensemble des normes utilisées a été extrait des bases *Manulex*, échelles CP et CE1 (Lété et al., 2004) et *Manulex Infra* échelle CE1 (Peereman et al., sous presse). Les résultats des différentes analyses de covariance (ANCOVAs) prenant pour facteur continu chacune des variables lexicales analysées sont présentées dans la dernière colonne. Les analyses ont démontré que les mots de 5 et 7 lettres sélectionnés pouvaient être globalement considérés comme homogènes sur le plan des facteurs considérés, à la seule exception de la consistance phono-graphémique, qui apparaît significativement plus basse sur la portion finale des mots de 7 lettres comparativement aux mots de 5 lettres.

### III.1.2.2 Construction des pseudo-mots

Tous les pseudo-mots introduits dans les listes étaient prononçables et respectaient la structure orthographique du français. Ces items étaient uniquement constitués de suites de lettres légales – du point de vue des bigrammes et des trigrammes – d'après les normes de *Manulex Infra* (Peereman et al., sous presse). De manière à augmenter la familiarité visuelle, les pseudo-mots ont été construits par contraction de la portion initiale et finale de mots extraits de l'échelle CE1 de la base de données *Manulex* (Lété et al., 2004). Par exemple, le pseudo-mot *lutou* a été construit sur la base des mots *lutin* et *bijou* (voir également l'Annexe 1 pour une liste complète des pseudo-mots et des mots de base correspondants). Les pseudo-mots construits étaient également hautement consistants sur le plan des correspondances de phonèmes à graphèmes et de graphèmes à phonèmes.

La similitude des pseudo-mots de 5 et 7 lettres a été vérifiée sur le plan de la fréquence des syllabes, de la consistance phono-graphémique et grapho-phonémique. Une seconde série d'analyse a permis de vérifier les similitudes entre pseudo-mots et mots sur ces mêmes facteurs. Les valeurs moyennes prises par les variables lexicales et infra lexicales contrôlées sont présentées séparément pour chaque type de stimulus et pour chaque longueur d'items dans le Tableau 6.

|           | Pseudo-Mots |       |       | Statistiques<br>Pseudo-Mots         | Mots  |       |       | Statistiques<br>Mots/Pseudo-Mots     |
|-----------|-------------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------------|
|           | 5 Ltr       | 7 Ltr | Moy   |                                     | 5 Ltr | 7 Ltr | Moy   |                                      |
| Freq Syll | 2997        | 1094  | 1695  | <i>ns</i> F(1,58)=2.458,<br>p=.1223 | 2249  | 1151  | 1800  | <i>ns</i> F(3,116)=1.375,<br>p=.2539 |
| Cons PG   |             |       |       |                                     |       |       |       |                                      |
| Globale   | 90.85       | 90.63 | 90.74 | <i>ns</i> F(1,58)=.014,<br>p=.9073  | 94.78 | 90.61 | 92.70 | <i>s</i> F(3,116)=3.322,<br>p=.0223  |
| Initiale  | 93.81       | 96.77 | 95.29 | <i>ns</i> F(1,58)=1.361,<br>p=.2481 | 95.21 | 91.46 | 93.34 | <i>ns</i> F(3,116)=.999,<br>p=.3962  |
| Mediane   | 92.87       | 92.67 | 92.77 | <i>ns</i> F(1,58)=.029,<br>p=.8655  | 93.60 | 92.17 | 92.89 | <i>ns</i> F(3,116)=.430,<br>p=.7317  |
| Finale    | 81.82       | 74.39 | 78.11 | <i>ns</i> F(1,58)=.828,<br>p=.3667  | 97.20 | 81.10 | 89.15 | <i>s</i> F(3,116)=3.853,<br>p=.0114  |
| Cons GP   |             |       |       |                                     |       |       |       |                                      |
| Globale   | 86.85       | 84.26 | 85.56 | <i>ns</i> F(1,58)=2.332,<br>p=.1322 | 85.49 | 85.32 | 85.41 | <i>ns</i> F(3,116)=.68<br>p=.5634    |
| Initiale  | 98.16       | 98.42 | 98.29 | <i>ns</i> F(1,58)=.060,<br>p=.8073  | 99.31 | 97.53 | 98.42 | <i>ns</i> F(3,116)=.756,<br>p=.5209  |
| Mediane   | 81.32       | 83.64 | 82.48 | <i>ns</i> F(1,58)=1.308,<br>p=.2575 | 78.53 | 82.85 | 80.69 | <i>ns</i> F(3,116)=1.298,<br>p=.2785 |
| Finale    | 88.95       | 72.24 | 80.60 | <i>s</i> F(1,58)=6.410,<br>p=.0141  | 84.01 | 79.44 | 81.73 | <i>ns</i> F(3,116)=2.367,<br>p=.0744 |

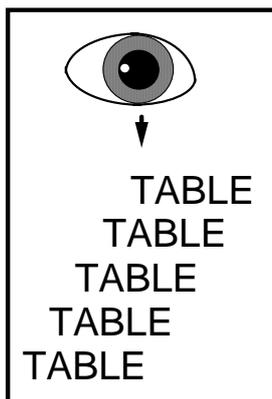
**Tableau 6.** Le tableau présente les valeurs moyennes de fréquence des syllabes (*Freq Syll*), de consistance phono-graphémique (*Cons PG*, calculée pour les parties *initiales*, *médianes*, *finales* et pour le mot dans sa *globalité*) et de consistance grapho-phonémique (*Cons GP*, calculée pour les parties *initiales*, *médianes*, *finales* et pour le mot dans sa *globalité*), calculées pour les pseudo-mots de 5 et 7 lettres. Les données correspondantes relevées pour les mots de 5 et 7 lettres ont été reportées dans les colonnes 6 à 8 du tableau. L'ensemble des normes utilisées a été extrait de la base *Manulex Infra*, échelle CE1 (Peereman et al., sous presse). Les résultats des différentes analyses de covariance (ANCOVAs) réalisées sur les pseudo-mots et prenant pour facteur continu chacune des variables lexicales analysées sont présentés dans la colonne 5. Les résultats correspondants comparant les pseudo-mots aux mots sont présentés dans la colonne 9. Les analyses ont démontré que les pseudo-mots de 5 et 7 lettres construits étaient homogènes sur le plan des variables contrôlées, exception faite d'une légère diminution de la consistance grapho-phonémique finale pour les pseudo-mots de 7 lettres. Les caractéristiques des pseudo-mots rejoignaient celles des mots sur la majorité des dimensions considérées, bien que la consistance phono-graphémique globale et finale des premiers soit légèrement inférieure à celle des seconds.

### III.1.3 Procédure

Le script de l'expérience a été réalisé grâce au logiciel Pyscope 1.1.2.PPC (Cohen, McWhinney & Provost, 1993), et l'expérience elle-même a été présentée à partir d'un Power Macintosh 6500/250. Les participants étaient installés dans une pièce calme, les yeux

approximativement à 40 cm de l'écran d'ordinateur. Les stimuli s'affichaient en minuscules, dans la police Courier de taille 24 points, de sorte que chaque lettre se trouvait inscrite dans une matrice de pixels de dimension fixe (0.4 cm x 0.6 cm), indépendamment de ses caractéristiques propres. Une lettre correspondait ainsi à 0.57 degrés d'angle visuel, un mot de 5 lettres à 2.85 degrés d'angle visuel et un mot de 7 lettres à 3.99 degrés d'angle visuel.

Les mots étaient présentés suivant la technique de position variable du regard dont le principe est résumé par le schéma de la Figure 4.



**Figure 4.** Le schéma illustre les positions de fixations potentielles d'un mot de 5 lettres suivant les modalités de la technique de position variable du regard dans le mot. Les items sont déplacés latéralement par rapport au point de fixation central de manière à ce que l'œil se pose sur l'une des positions de fixation prédéfinies. La limitation du temps de présentation des stimuli assure que les performances mesurées dépendent des informations extraites au cours d'une fixation unique de la cible, au niveau de la zone choisie. Ce format de présentation permet de construire une courbe d'EPR, qui associe à chaque fixation un pourcentage de reconnaissance correcte des stimuli.

Chaque mot était divisé en 5 zones de taille identique, correspondant à 1/5 de la longueur totale du mot. Chaque portion comprenait donc exactement une lettre pour les mots de 5 lettres et 1.4 lettres pour les mots de 7 lettres. Le centre de chaque zone était défini comme point de fixation initial potentiel. Dans chaque liste expérimentale, les mots d'une longueur donnée étaient répartis en 5 sous-groupes, permettant que l'ensemble des stimuli affecté à un groupe soit présenté en l'une des 5 positions de fixation initiale prédéfinies. Plus précisément, la liste se trouvait subdivisée en 5 groupes de 6 mots de 5 lettres, 5 groupes de 6 mots de 7 lettres, 5 groupes de 6 pseudo-mots de 5 lettres et 5 groupes de 6 pseudo-mots de 7 lettres. D'un participant à l'autre, un groupe d'item donné se voyait attribuer une fixation initiale différente, suivant les principes du carré Latin. De cette manière, chaque participant ne voyait qu'une fois chaque item, dans une seule position mais tout stimuli apparaissait dans les 5 positions possibles à travers l'ensemble des participants. La succession des mots et pseudo-mots était parallèlement établie suivant un ordre aléatoire, nécessairement différent d'un participant à l'autre.

Les temps de présentation des stimuli ont été ajustés pour chaque enfant au cours d'une session d'entraînement, durant laquelle les participants étaient confrontés de manière répétée à une liste de 19 items jusqu'à ce que leur performance dépasse les 50% de réponses

correctes. Les items inclus dans la liste d'entraînement (i.e. 6 mots de 5 lettres, 5 mots de 7 lettres, 4 pseudo-mots de 5 lettres et 4 pseudo-mots de 7 lettres) étaient différents de ceux introduits dans la liste expérimentale. Les durées de présentation établies de cette manière sont restées en deçà de la latence minimale de réalisation d'une saccade - estimée à 180 ms environ - limitant la probabilité pour que le regard des participants ne dévie de la fixation initiale imposée.

Chaque essai débutait par la présentation d'une croix de fixation (+) au milieu de l'écran, que les participants étaient instamment priés de garder sous leur regard. Après une seconde, la croix de fixation était remplacée par une séquence de lettres (mot ou pseudo-mot) qui restait affichée à l'écran pour la durée de présentation préalablement établie auprès de chaque enfant. Les stimuli étaient latéralement déplacés sur la gauche ou sur la droite de la croix de fixation centrale, de manière à ce que les yeux des participants se posent sur l'une des 5 positions de fixation initiale prédéterminées. Les stimuli étaient ensuite remplacés par un masque rétroactif composé d'une suite de 9 dièses (#), qui disparaissait après un délai d'une seconde. Les enfants étaient alors priés de saisir au clavier l'item présenté (mot ou pseudo-mot). Dans les cas où la séquence de lettres ne pouvait être identifiée dans sa globalité, les enfants restituaient toutes les lettres reconnues. Des informations relatives à la taille et à la nature des stimuli présentés (i.e. présence de séquences de lettres ne correspondant à aucun mot de la langue française) étaient fournies aux participants au début de la passation. Après avoir proposé une réponse, l'enfant pressait la barre d'espace pour déclencher la présentation de l'essai suivant. Durant toute la durée de l'expérience, l'application des enfants à maintenir leur regard au niveau de la zone de fixation cible était soigneusement contrôlée. Les enfants étaient en outre invités à faire une pause chaque fois qu'ils le souhaitaient ou que leur attention semblait se relâcher.

Le déroulement de l'expérience décrit ci-dessus est illustré par la Figure 5.

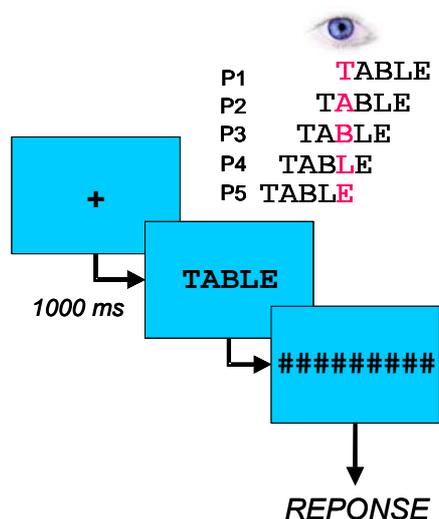


Figure 5. Illustration de la séquence d'événements constituant le paradigme d'identification de mots et pseudo-mots suivant la position variable du regard dans le mot. P1 désigne la zone de fixation la plus à gauche du point de fixation central, P5 la zone la plus à droite.

## **IV PRESENTATION DES RESULTATS**

### **IV.1 Analyse des données comportementales**

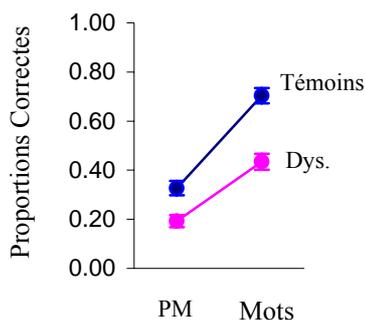
Seuls les résultats des participants normaux lecteurs et dyslexiques dont le pourcentage d'erreurs était inférieur à la moyenne de leur groupe d'appartenance moins 2 fois l'écart type ont été considérés dans les analyses ultérieures. L'application de ce critère a conduit à l'exclusion de deux participants normaux lecteurs, ramenant l'effectif de ce groupe à 18 participants.

En moyenne, 52% des stimuli ont été correctement identifiés par les enfants normaux lecteurs, contre 29% chez les enfants dyslexiques. Ces résultats s'entendent toutes catégories lexicales, longueurs et positions du regard dans le mot confondues. La durée moyenne de présentation des stimuli s'élevait respectivement à 111 ms et 157 ms dans chacun des groupes. Ainsi, les enfants dyslexiques ne pouvaient atteindre le seuil minimal d'identification correcte qu'après un allongement de près de 50% du temps d'exposition nécessaire aux normaux lecteurs. Toutefois la quantité de réponses correctes relevée chez les sujets dyslexiques est restée bien inférieure à celle observée dans le groupe contrôle.

#### **IV.1.1 Qualité du traitement de la forme globale des stimuli**

##### **IV.1.1.1 Effet de lexicalité**

Le graphique de la Figure 6 présente les proportions de réponses correctes obtenues pour les mots et les pseudo-mots, toutes longueurs et positions du regard confondues. Ces résultats sont présentés séparément pour les enfants normaux-lecteurs (courbe bleue) et dyslexiques (courbe rose). Des performances plus basses ont été observées chez les enfants dyslexiques, quelle que soit la nature des stimuli présentés. Dans les deux groupes, l'identification des pseudo-mots était plus incertaine que celle des mots. L'avantage des mots sur les pseudo-mots se manifestait néanmoins de manière plus évidente dans le groupe contrôle que dans celui des dyslexiques. Un gain de 38% a en effet été observé chez les normaux lecteurs, tandis que l'écart n'était plus que de 23% chez les enfants porteurs d'un trouble de lecture.



**Figure 6.** Le graphique présente les proportions de réponses correctes enregistrées auprès des enfants normaux lecteurs (courbe bleue) et dyslexiques (courbe rose), lors du traitement des pseudo-mots (PM) et des mots. Un net avantage pour les mots a été observé dans les deux groupes, mais est apparu plus marqué dans celui des normaux lecteurs.

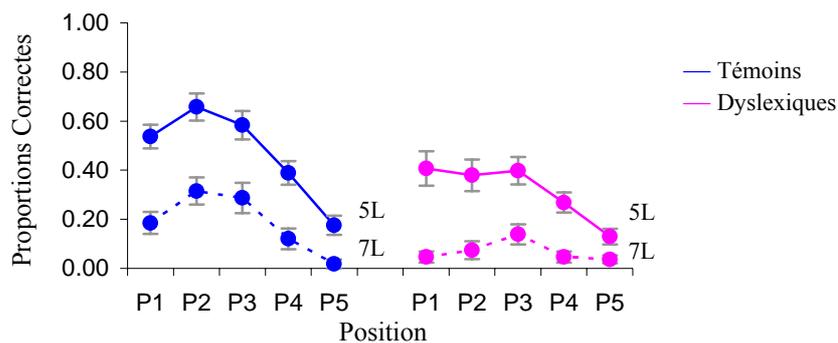
Une ANOVA prenant pour facteur intra-sujets la catégorie lexicale des stimuli (pseudo-mots ou mots) et pour facteur inter-sujets le profil des participants vis-à-vis de la lecture (i.e. normaux lecteurs ou dyslexiques) a été conduite sur les taux de réponses correctes recueillis. Des effets significatifs de la catégorie lexicale [ $F(1,34)=330.02$  ;  $p<.0001$ ] et du profil de lecture [ $F(1,34)=27.787$  ;  $p<.0001$ ] ont été obtenus. L'interaction entre les deux variables s'est également révélée significative [ $F(1,34)=16.906$  ;  $p=.0002$ ), confirmant la majoration de l'effet de lexicalité dans le groupe des normaux lecteurs.

#### IV.1.1.2 Précision du traitement perceptif : profils d'identification des pseudo-mots

Les pseudo-mots n'étant associés à aucune représentation spécifique en mémoire, les profils de réponses établis pour cette catégorie de stimuli permettent d'évaluer la qualité des informations visuelles extraites par les participants au cours d'une fixation unique. Les graphiques de la Figure 7 décrivent les proportions de réponses correctes mesurées dans les différentes positions de fixation du regard, pour les pseudo-mots de 5 (courbes pleines) et 7 lettres (courbes pointillées). Les courbes bleues concernent les normaux lecteurs, les courbes roses se rapportent aux dyslexiques. Quelle que soit la position du regard, les participants extrayaient davantage d'éléments visuels à partir des pseudo-mots courts que longs. Toutefois, à longueur égale, le taux d'informations récupéré par les participants dyslexiques est resté nettement en deçà de celui relevé auprès des normaux lecteurs. Ce point est plus précisément illustré par les pourcentages de reconnaissance corrects reportés dans le Tableau 7.

|             | Pseudo-Mots |     |
|-------------|-------------|-----|
|             | 5L          | 7L  |
| Témoins     | 47%         | 19% |
| Dyslexiques | 39%         | 7%  |

**Tableau 7.** Pourcentages de reconnaissances correctes des pseudo-mots de 5 et 7 lettres. Les résultats sont présentés séparément pour les enfants normaux lecteurs et dyslexiques



**Figure 7.** Proportions de réponses correctes obtenues pour les pseudo-mots de 5 et 7 lettres (courbes pleines et pointillées, respectivement) suivant la région du mot fixée (de P1=fixation de la partie initiale du mot à P5=fixation de la partie finale du mot). Les courbes bleues concernent les normaux lecteurs et les courbes roses les enfants dyslexiques. Indépendamment du niveau de lecture et de la position de fixation, les stimuli courts sont traités plus efficacement que les longs. La qualité de l'analyse visuelle des participants dyslexiques reste cependant moindre sur l'ensemble des items, en comparaison des témoins.

Une ANOVA prenant pour facteurs intra sujets la position de fixation et la longueur des items et pour facteur inter sujets le profil des participants vis-à-vis de la lecture a été conduite sur les proportions de réponses correctes collectées sur les pseudo-mots. Les effets principaux du profil de lecture [ $F(1,34)=12.536$  ;  $p<.0001$ ], de la longueur [ $F(1,34)=207.395$  ;  $p<.0001$ ] et de la position de fixation [ $F(4,34)=32.300$  ;  $p<.0001$ ] se sont avérés significatifs à l'issue des analyses. La position du regard interagissait également de manière significative avec le profil de lecture [ $F(4,136)=5.225$  ;  $p=.0006$ ] et la longueur [ $F(4,136)=5.265$  ;  $p=.0006$ ]. Les ANOVAS complémentaires réalisées au sein de chaque groupe de participants ont révélé une interaction significative de la longueur et de la position chez les enfants dyslexiques [ $F(4,68)=3.436$ ,  $p=.0129$ ], mais pas chez les normaux lecteurs [ $F(4,68)=1.981$  ;  $p=.1073$ ]. Ainsi, chez les enfants porteurs d'un trouble de la lecture, les positions de fixations optimales amélioreraient la qualité du traitement visuel des pseudo-mots courts [ $F(4,17)=6.550$  ;  $p=.0002$ ] mais pas des pseudo-mots longs [*ns*  $F(4,17)=2.260$  ;  $p=.0716$  *ns*].

#### IV.1.1.3 Précision du traitement perceptivo-lexical : profils d'identification des mots

La Figure 8 expose les profils d'identifications correctes des mots de 5 et 7 lettres (courbes pleines et pointillées, respectivement) établis auprès des normaux lecteurs (courbes bleues) et des enfants dyslexiques (courbes roses). Indépendamment de la région du mot fixée, le taux d'identifications correctes relevé pour les participants dyslexiques est resté inférieur aux performances du groupe contrôle. Quarante-trois pourcents des mots ont été reconnus par les enfants porteurs d'un trouble de la lecture (soit 58% des mots de 5 lettres et 29% des mots de

7 lettres) contre 70% chez les participants ne présentant pas de difficultés dans ce domaine (soit 83% des mots de 5 lettres et 58% des mots de 7 lettres).

L'effet de position du regard dans le mot était visible tant chez les normaux lecteurs que chez les dyslexiques : quelle que soit leur longueur, les mots étaient reconnus plus précisément lorsque l'œil fixait les régions centrales que lorsqu'il se posait sur les extrémités. La proportion de réponses correctes était par ailleurs plus élevée lorsque le regard tombait à gauche de la position de fixation optimale plutôt qu'à sa droite.

Tous les participants identifiaient plus précisément les mots courts que les mots longs. L'amplitude de cet effet de longueur était similaire dans les deux groupes testés : toutes positions du regard confondues, un avantage d'environ 27% d'identification correctes en faveur des mots de 5 lettres a été observé. Un examen plus attentif des résultats des normaux lecteurs a mis en évidence une réduction de cet effet de longueur à 14%, lorsque les mots étaient fixés en position optimale (i.e. P2-P3). Chez les enfants dyslexiques, en revanche, un écart important (31%) persistait entre les mots courts et longs à cette position.

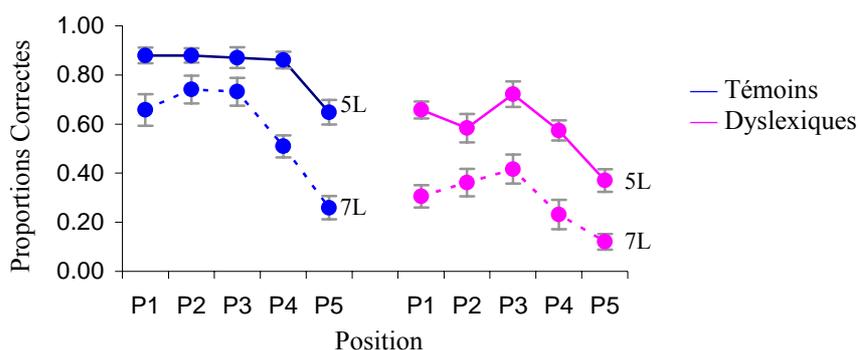


Figure 8. Proportions de réponses correctes obtenues pour les mots de 5 et 7 lettres (courbes pleines et pointillées, respectivement) suivant la région du mot fixée. Les courbes bleues concernent les normaux lecteurs et les courbes roses les enfants dyslexiques. Bien que les performances des seconds soient globalement abaissées, l'effet de position optimale du regard reste visible dans les deux groupes, pour les mots longs comme pour les mots courts. On remarque une réduction de l'effet de longueur à la position optimale (i.e. P3), chez les normaux lecteurs uniquement.

Les données collectées ont été analysées au moyen d'une ANOVA prenant pour facteurs intra-sujets la longueur des mots et la position de fixation, et pour variable inter-sujets le profil des participants vis-à-vis de la lecture. Les effets principaux du groupe [ $F(1,34)=35.061$  ;  $p<.0001$ ], de la longueur [ $F(1,34)=222.329$  ;  $p<.0001$ ] et de la position du regard [ $F(4,34)=48.584$  ;  $p<.0001$ ] se sont révélés significatifs. La position du regard interagissait également significativement avec la longueur [ $F(4,136)=3.865$  ;  $p=.0053$ ]. Cette interaction est possiblement attribuable à un effet de plafond pour le traitement des mots de 5 lettres fixés en position initiale et médiane dans le groupe des normaux lecteurs.

Aucun effet d'interaction entre le profil de lecture et la longueur [*ns* F(1,34)=1.899 ;p=.1772) ou le profil de lecture et la position [*ns* F(4,136)=1.550 ;p=.1912] n'a été relevé. Ce résultat confirme que - dans l'ensemble - les effets de longueur et de position s'exprimaient de manière similaire chez les enfants dyslexiques et normaux lecteurs. Il faut toutefois souligner que la longueur interagissait significativement avec le profil de lecture [F(1,34)=4.388 ;p=.0437] lorsque la seule position de fixation optimale (i.e P3) était considérée. L'avantage des mots de 5 lettres était encore visible à cette position dans le groupe des témoins [F(1,17)=9.460 ;p=.0069] comme dans celui des dyslexiques [F(1,17)=21.892 ;p=.0002], mais connaissait une réduction d'amplitude qui ne s'observait pas chez les enfants en difficultés de lecture.

## IV.1.2 Qualité du traitement des unités infra lexicales

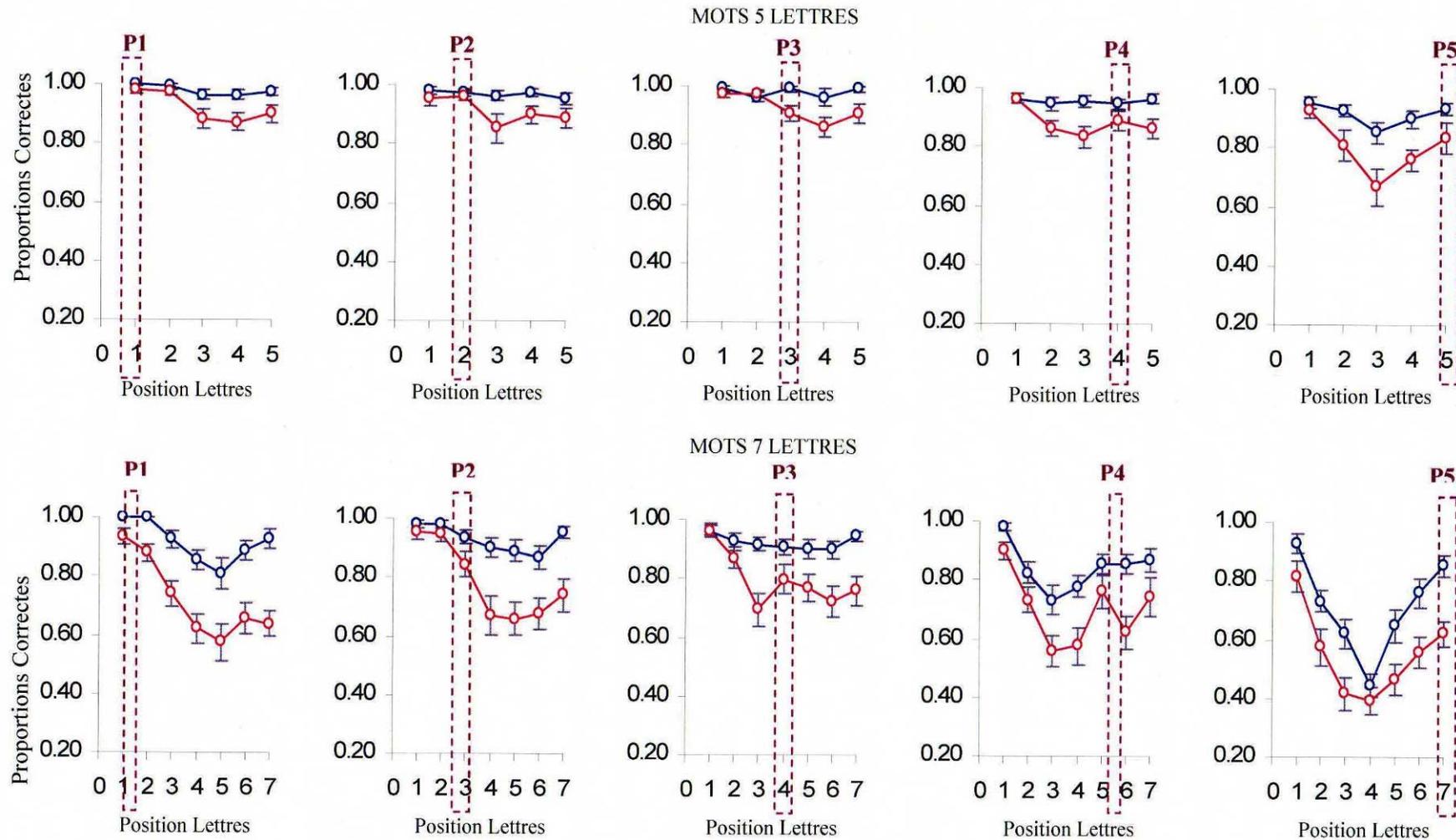
### IV.1.2.1 Taux d'adéquation orthographique des réponses erronées

Dans chacun des groupes testés, le degré de reconnaissance des indices infra lexicaux a été mesuré au moyen du calcul d'un indice de proximité orthographique, suivant la procédure développée par Aubert et Foulin (communication personnelle) et inspirée du modèle de contraste de Tversky (1977). Cette technique permet de pondérer la similitude existant entre l'input et l'output par leurs différences respectives. Les caractéristiques communes et opposables sont déterminées à partir du comptage des lettres et bigrammes, de manière à tenir compte de l'organisation sérielle des séquences comparées. L'indice est donc sensible à de nombreuses transformations, causées par les mécanismes d'élosion, d'adjonction, de substitution et d'inversion. L'indice de proximité orthographique (IPO) a été estimé pour chaque réponse recueillie auprès des participants normaux lecteurs et dyslexiques, par application de la formule suivante :

$$IPO = \frac{(NbBiCible + NbBiOK - NbBiDiff + NbLtrCible + NbLtrOK - NbLtrDiff)}{2 \times (NbBiCible + NbLtrCible)}$$

Equation 6 : où *NbBiCible* = nombre de bigrammes du mot présenté, *NbBiOK* = nombre de bigrammes communs entre le mot présenté et la réponse donnée, *NbBiDiff* = nombre de bigrammes différents entre le mot présenté et la réponse donnée, *NbLtrCible* = nombre de lettres du mot présenté, *NbLtrOK* = nombre de lettres communes entre le mot présenté et la réponse donnée, *NbLtrDiff* = nombre de lettres différentes entre le mot présenté et la réponse donnée. La valeur maximale de 1 est obtenue lorsque la réponse proposée correspond exactement au mot présenté en entrée.

La Figure 9 (graphique de gauche) présente les valeurs d'IPO calculées d'après deux corpus de 320 erreurs commises sur les mots, sélectionnées aléatoirement parmi les réponses proposées par les normaux lecteurs et les dyslexiques. Les résultats mettent en évidence que lorsque le mot



**Figure 10.** Proportion de lettres correctement identifiées en fonction de leur position séquentielle dans les mots (i.e : de 1 à 5 et de 1 à 7 pour les mots de 5 et 7 lettres, respectivement). Les graphiques du haut présentent les résultats obtenus pour les mots de 5 lettres, les graphiques du bas les résultats correspondants pour les mots de 7 lettres. Les courbes bleues présentent les profils de réponse des normaux lecteurs, les courbes roses ceux des enfants dyslexiques. Les données sont présentées séparément pour chacune des 5 positions de fixation imposées (P1 à P5), les différentes zones fixées sont matérialisées par les pointillés violets. En raison d'un effet de plafond pour les mots de 5 lettres, l'aplatissement de la courbe d'identification des lettres en position optimale chez les témoins s'observe plus particulièrement sur les mots longs. Ce phénomène n'a pas son équivalent chez les participants dyslexiques, quelle que soit la longueur des mots considérée.

présenté n'est pas reconnu, les formes proposées par les enfants porteurs de troubles de la lecture (barres bleues) sont plus éloignées de la cible que celles proposées par les normaux lecteurs (barres roses), d'un point de vue orthographique. Les dyslexiques produisaient en effet davantage de lettres et bigrammes qui ne sont pas retrouvés dans les mots présentés. En outre, une proportion plus importante de trigrammes illégaux a été repérée à la fin des séquences de lettres proposées par ces enfants (i.e. 21% de trigrammes de fréquence comprise entre 0 et 1 occurrence par million d'après *Manulex* (Lété et al., 2004) dans le groupe des dyslexiques contre 12% dans celui des normaux lecteurs).

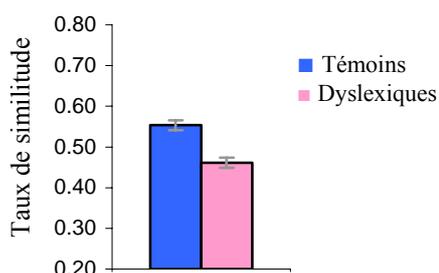


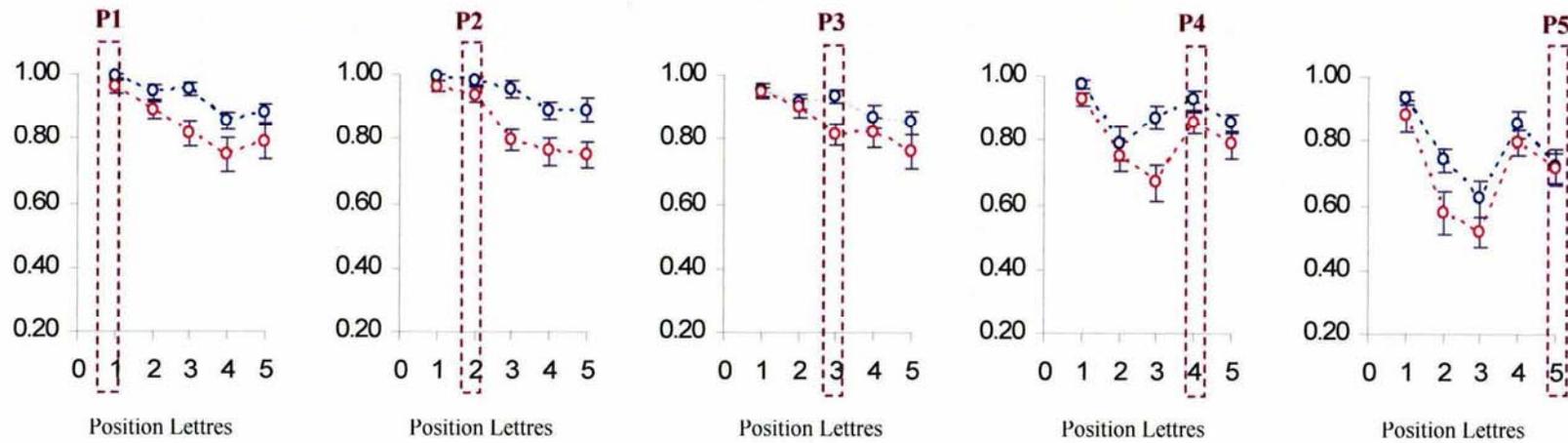
Figure 9. Taux moyen de similitude orthographique (IPO) entre les mots présentés et les réponses proposées par les normaux lecteurs (barre bleue) et les dyslexiques (barre rose), établi d'après deux corpus de 320 erreurs. En cas de non reconnaissance, les formes produites par les dyslexiques sont orthographiquement plus éloignées des mots cibles que celles proposées par les normaux lecteurs

Deux analyses par items (ANOVAs) prenant pour facteur inter-items le profil de lecture ont été conduites sur les valeurs d'IPO et de fréquence des trigrammes terminaux, estimée d'après *Manulex* (Lété et al., 2004). Un effet significatif du profil de lecture a été obtenu sur les valeurs d'IPO [ $F(1,638)=23.037 ; p<.0001$ ] et sur la fréquence des trigrammes [ $F(1,638)=16.137 ; p<.0001$ ]. Ce résultat confirme que les dyslexiques produisent davantage de formes orthographiques non conformes à la structure de leur langue.

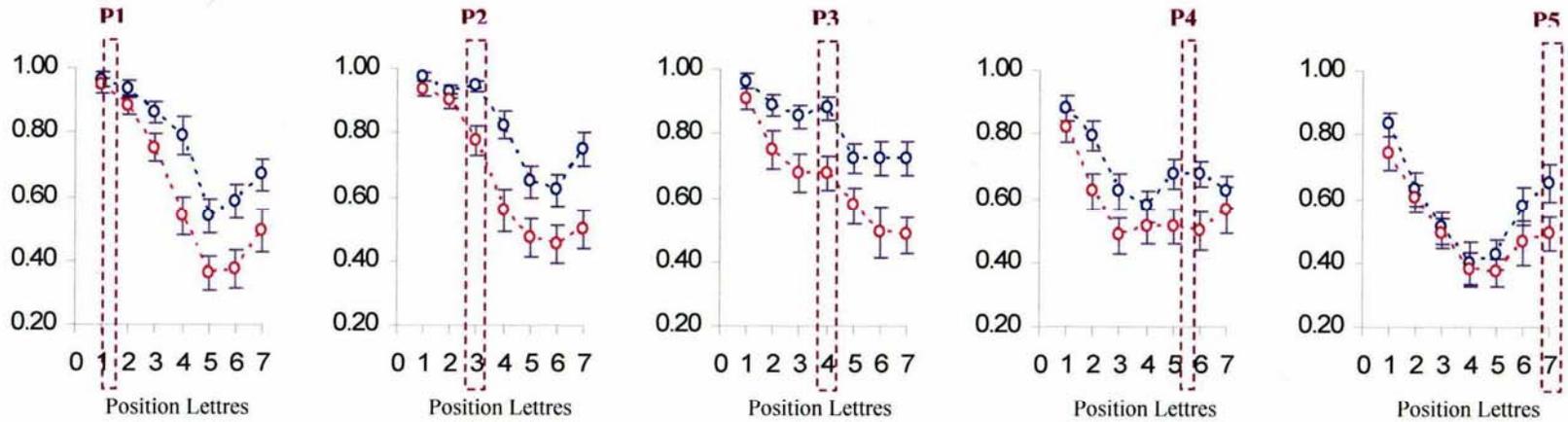
#### IV.1.2.2 Précision de reconnaissance des lettres suivant leur position sérielle et la zone du stimulus fixée

De manière à examiner la précision avec laquelle les participants reconnaissaient les lettres des items proposés, nous avons calculé le nombre de lettres correctement restituées dans chacune des réponses recueillies. Ainsi, par exemple, la réponse *LA---* pour le mot *LAPIN* débouchait sur un score de 1 pour les lettres 1 et 2 et un score de 0 pour les lettres 3 à 5. La position relative des lettres restituées n'a pas été prise en considération pour ce calcul (i.e, en référence au précédent exemple, un score identique était obtenu pour *LA---*, *AL---*, *-L-A-*, etc.). Les graphiques de la Figure 10 présentent les proportions d'identification correctes des lettres constitutives des mots de 5 et 7 lettres, relevées chez les normaux lecteurs (courbes bleues) et chez les dyslexiques (courbes roses). Les résultats ont été rapportés séparément pour chacune

PSEUDO-MOTS 5 LETTRES



PSEUDO-MOTS 7 LETTRES



**Figure 11.** Proportion de lettres correctement identifiées en fonction de leur position séquentielle dans les pseudo-mots (i.e : de 1 à 5 et de 1 à 7 pour les mots de 5 et 7 lettres, respectivement). Les graphiques du haut présentent les résultats obtenus pour les pseudo-mots de 5 lettres, les graphiques du bas les résultats correspondants pour les pseudo-mots de 7 lettres. Les courbes bleues présentent les profils de réponse des normaux lecteurs, les courbes roses ceux des enfants dyslexiques. Les données sont présentées séparément pour chacune des 5 positions de fixation imposées (P1 à P5). Le nombre de lettres correctement identifiées dans les pseudo-mots est resté inférieur chez les enfants dyslexiques, comparativement aux normaux lecteurs. Aucun effet d'aplanissement de la courbe en position optimale n'est observable sur ces données.

des 5 positions de fixation imposées. Les graphiques de la Figure 11 présentent les résultats correspondants pour les pseudo-mots.

Quelle que soit la zone fixée, le nombre de lettres correctement reconnues dans les mots était toujours supérieur à la proportion de lettres identifiées dans les pseudo-mots. Ce constat se vérifiait chez les enfants dyslexiques aussi bien que chez les normaux lecteurs. Dans les deux groupes également, les lettres présentées dans le contexte des stimuli de 7 lettres étaient identifiées avec une précision moindre que celles figurant dans les stimuli de 5 lettres.

Lorsque l'œil se posait sur le début ou la fin des mots et des pseudo-mots, le taux de reconnaissance des lettres tendait à diminuer graduellement en fonction de l'accroissement de la distance séparant les lettres de la région fixée. Ce profil a été mis en évidence chez les dyslexiques comme chez les normaux lecteurs. Une ré-augmentation de la performance était systématiquement observable pour les premières et les dernières lettres des séquences. Ce phénomène - non spécifique à la perception des lettres dans les mots - reflétait simplement la réduction de l'interférence exercée par les indices visuels proches grâce aux espaces vides définissant les frontières des mots (Huckauf, Heller & Nazir, 1999).

Chez les normaux lecteurs, la fonction d'identification des lettres s'aplanissait lorsque l'œil s'approchait de la position de fixation optimale. Cette tendance était plus particulièrement remarquable sur les mots longs, en raison de l'effet de plafond constaté pour les mots de 5 lettres dans ce groupe. Lorsque l'œil fixait les régions proches du centre des mots, les lettres étaient donc perçues avec une égale précision, indépendamment de leur place dans le mot. Cet avantage n'a pas été retrouvé lors du traitement des pseudo-mots. Chez les dyslexiques, aucun aplanissement de la fonction d'identification des lettres en position optimale n'a été constaté, s'agissant des mots ou des pseudo-mots.

Finalement, quelle que soit la position de fixation considérée, les enfants porteurs de troubles de la lecture identifiaient moins précisément les lettres directement fixées que leurs homologues normaux lecteurs (i.e. 91% d'identifications correctes contre 97% pour les mots de 5 lettres et 77% contre 91% pour les mots de 7 lettres).

Les résultats obtenus sur les mots de 5 et 7 lettres ont été analysés séparément au moyen de 2 ANOVAs prenant pour facteur intra sujets la position de fixation et la position sérielle des lettres dans les mot (i.e. de 1 à 5 et de 1 à 7 pour les mots de 5 et 7 lettres, respectivement), et pour facteur inter sujets le profil de lecture des participants. Le détail de ces analyses a été reporté dans le Tableau 8.

|                   | Mots                                |                                     |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                   | 5 Lettres                           | 7 Lettres                           |
| Profil Lecture    | [F(1,34)=20.415 ;p<.0001] <i>s</i>  | [F(1,34)=22.237 ;p<.0001] <i>s</i>  |
| Position Fix      | [F(4,34)=13.374 ;p<.0001] <i>s</i>  | [F(4,34)=44.837 ;p<.0001] <i>s</i>  |
| Position Lettres  | [F(4,34)=13.509 ;p<.0001] <i>s</i>  | [F(6,34)=45.512 ;p<.0001] <i>s</i>  |
| Pos.Ltr * Profil  | [F(4,136)=20.415 ;p<.0001] <i>s</i> | [F(6,204)=4.856 ;p=.0001] <i>s</i>  |
| Pos.Ltr * Pos.Fix | [F(16,136)=2.847 ;p=.0002] <i>s</i> | [F(24,204)=8,909 ;p<.0001] <i>s</i> |
| Pos.Fix * Profil  | F[(4,136)=1.385 ;p=.2790] <i>ns</i> | [F(4,136)=.810 ;p=.5209] <i>ns</i>  |

Tableau 8. Détail des Anovas conduites sur les mots de 5 et 7 lettres.

Les effets principaux du profil de lecture, de la position de fixation et de la position sérielle des lettres se sont révélés significatifs à l'issue des analyses, tant pour les mots courts que longs.

Des interactions significatives de la position sérielle des lettres et du profil de lecture d'une part, et de la position sérielle des lettres et de la position de fixation d'autre part ont été mises en évidence sur le traitement des mots de 5 et 7 lettres. En revanche, le profil de lecture n'interagissait pas avec la position de fixation, quelle que soit la longueur des mots.

Les ANOVAs prenant pour facteur intra sujets la position sérielle des lettres conduites séparément sur les mots de 5 et 7 lettres sur les résultats des normaux lecteurs ont confirmé l'équiprobabilité de reconnaissance des lettres aux positions optimales pour les mots courts [P2 F(4,17)=.230 ;p=.9204 *ns*] et longs [P3 F(6,17)=1.636 ;p=.1448 *ns*]. Les analyses correspondantes réalisées auprès des enfants dyslexiques ont en revanche démontré que l'effet de la position sérielle des lettres se maintenait dans les positions de fixation optimales, pour les mots de 5 [P2 F(4,17)=2.802 ;p=.0326 *s*] et 7 lettres [P3 F(6,17)=.7.567 ;p<.0001 *s*].

Concernant les pseudo-mots, des profils de performance similaires à ceux des mots ont été obtenus. Le détail des analyses figure dans le Tableau 9 (3<sup>e</sup> colonne).

|                   | Pseudo-Mots                          |  |
|-------------------|--------------------------------------|--|
|                   | 5 Lettres                            | 7 Lettres                              |
| Profil Lecture    | [F(1,34)=11.648 ;p=.0017] <i>s</i>   | [F(1,34)=15.329 ;p=.0004] <i>s</i>     |
| Position Fix      | [F(4,34)=21.190 ;p<.0001] <i>s</i>   | [F(4,34)=29.488 ;p<.0001] <i>s</i>     |
| Position Lettres  | [F(4,34)=27.615 ;p<.0001] <i>s</i>   | [F(6,34)=67.558 ;p<.0001] <i>s</i>     |
| Profil * Pos.Ltr  | [F(4,136)=2.761 ;p=.0302] <i>s</i>   | [F(6,204)=2.105 ;p=.0542] ( <i>s</i> ) |
| Pos.Ltr * Pos.Fix | [F(16,136)=10.211 ;p<.0001] <i>s</i> | [F(24,204)=7.827 ;p<.0001] <i>s</i>    |
| Profil * Pos.Ltr  | F[(4,136)=.304 ;p=.8751] <i>ns</i>   | [F(4,136)=1.692 ;p=.1553] <i>ns</i>    |

Tableau 9. Détail des Anovas conduites sur les pseudo-mots de 5 et 7 lettres.

### **IV.1.3 Synthèse des résultats comportementaux**

Toutes positions et toutes longueurs confondues, les enfants dyslexiques testés identifiaient plus précisément les mots que les pseudo-mots. Ce résultat suggère qu'en dépit de leur trouble de lecture, ces enfants étaient capables – dans une certaine mesure - de mettre à profit leurs connaissances lexicales pour compenser les informations visuelles lacunaires extraites de l'input visuel rencontré. La présence plus fréquente de trigrammes illégaux en position finale dans les réponses proposées signalent néanmoins que l'étendue du savoir lexical des dyslexiques interrogés restait limitée en regard des enfants d'âge lexique équivalent.

D'autres éléments incitent en outre à penser que les percepts construits par les participants dyslexiques sur la base des séquences de lettres rencontrées étaient de moindre qualité en regard des percepts élaborés par les normaux lecteurs. Indépendamment de leur compétence lexicale, les enfants dyslexiques ne reconnaissaient qu'une proportion réduite des pseudo-mots présentés, y compris dans les conditions où ces items ne comportaient que 5 lettres. Les analyses conduites au niveau des lettres ont fourni une première explication à ces données en montrant que les participants dyslexiques tiraient un avantage restreint des positions de fixations optimales, qui n'autorisaient pas une équiprobabilité de reconnaissance de la totalité des lettres des stimuli rencontrés. L'abaissement global des courbes d'identification des lettres chez les enfants dyslexiques suggérait également une accentuation de la perte de lisibilité des lettres à distance de la zone fixée. Finalement, les enfants dyslexiques présentaient une altération de la reconnaissance des lettres situées directement sous le focus de leur regard.

Les observations recueillies permettent donc d'envisager que les difficultés d'identification des mots isolés repérées chez les dyslexiques de surface puissent être le produit d'un défaut d'analyse visuelle et d'une contribution réduite des connaissances lexicales au processus d'identification. La validité de cette hypothèse a été éprouvée au moyen d'un ensemble de simulations réalisées via le modèle CLIP (Kajii & Osaka, 2000), dont les résultats ont été reportés dans le chapitre suivant.

## **IV.2 Simulation des profils d'identification des mots au moyen du modèle CLIP (Kajii & Osaka, 2000)**

Ainsi que nous l'avons décrit dans l'introduction de nos travaux (cf pp. 9-14), le modèle CLIP élaboré par Kajii et Osaka (2000) propose que l'appréhension des mots écrits résulte d'une

conjonction d'informations visuelles extraites des items rencontrés (i.e. *identification perceptive*) et d'éléments issus des connaissances verbales des participants (i.e. *inférences lexicales*). Cette relation a été traduite dans les termes mathématiques rappelés ici :

$$P(W) = \sum_{i=1}^n \left[ \underbrace{P(C_i)}_{\text{visuel}} \cdot \underbrace{P(W|C_i)}_{\text{lexical}} \right] \text{ et } P(W|C_i) = \frac{1}{N(C_i)} \quad \text{avec } N(C_i) \neq 0$$

Equation 7: où la probabilité de reconnaître un mot  $P(W)$  repose sur  $P(C_i)$ , la probabilité d'occurrence du CLIP  $C_i$  et  $P(W|C_i)$  est la probabilité conditionnelle de prédire le mot complet à partir du CLIP  $C_i$ .  $N(C_i)$  représente le nombre de mots partageant les mêmes lettres que le CLIP  $C_i$ , et prend la valeur de 1 lorsque le mot présenté ne possède aucun voisin parmi les connaissances du participant, à l'exception de lui-même.

L'application de ce modèle à la simulation de nos résultats empiriques nécessite une spécification préalable des paramètres lexicaux et visuels supposés intervenir au cours du processus d'élaboration des réponses. Les détails de cette démarche, développée par Benboutayab (2004), sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

## **IV.2.1 Simulation des données comportementales des normaux lecteurs : Méthode et Résultats**

### **IV.2.1.1 Estimation des caractéristiques du savoir lexical des jeunes lecteurs**

L'objectif de cette première étape consiste à sélectionner un ensemble de mots représentant de manière réaliste le savoir lexical précoce des enfants, à partir duquel le modèle CLIP sera tenu de conduire sa recherche de voisins, en cas d'identification incomplète de la séquence de lettres rencontrée (i.e. génération du *CLIP partiel*, décrit pp 12-13 de l'Introduction).

Les précédentes utilisations du CLIP auprès de jeunes lecteurs ont démontré que la prise en compte de l'âge d'acquisition des mots, outre leur fréquence d'occurrence dans les manuels scolaires, permettait d'approcher plus finement les résultats empiriques (Decoppet, 2005). En toute logique, les premières formes écrites assimilées sont celles que les enfants rencontrent plus fréquemment au cours des premières années d'apprentissage de la lecture que dans les années suivantes (voir à ce sujet les travaux de Zevin & Seidenberg, 2004). Les items constitutifs du vocabulaire précoce des enfants ont donc été choisis de manière à ce que leur fréquence d'occurrence en CP et/ou en CE1 soit au moins supérieure à 10 occurrences par million, d'après les normes de *Manulex* (Lété et al., 2004). Par la suite, les 4000 mots possédant les valeurs de fréquence cumulée CP/CE1 les plus élevées ont été retenus parmi les candidats sélectionnés, afin de représenter de manière réaliste l'étendue du vocabulaire

orthographique en réception d'un enfant scolarisé en CE2, d'après les estimations de Lété (2004) et Ehrlich, Brameraud du Boucheron et Florin (1978, cité par Lété, 2004).

#### **IV.2.1.2 Estimation de la valeur des paramètres visuels**

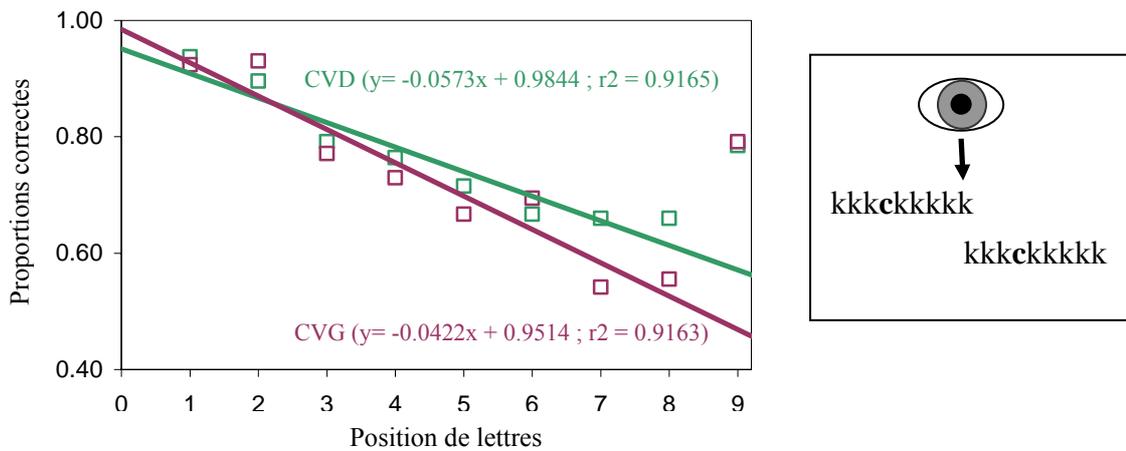
Les facteurs visuels impliqués dans le traitement des mots décrits par Nazir et collègues (1991) incluent : 1) la probabilité  $a$  de reconnaissance de la lettre placée directement sous le focus du regard, 2) le ratio de l'asymétrie gauche droite et 3) le taux de diminution de la lisibilité des lettres à droite de la fixation  $b_{right}$ . Rappelons que le taux de diminution de la lisibilité des lettres situées à gauche de la fixation  $b_{left}$  est obtenu après multiplication de  $b_{right}$  par la valeur estimée du ratio de l'asymétrie gauche-droite.

##### **IV.2.1.2.1 Estimation du paramètre $a$ et du ratio d'asymétrie gauche-droite**

Chez les jeunes lecteurs, comme chez les adultes évalués par Nazir et collègues (1991), la probabilité d'identifier la lettre tombant directement sous le *focus* du regard est maximale, étant donné la haute résolution de la vision centrale. De fait, une valeur de 1 a été conventionnellement attribuée au paramètre  $a$ .

D'autre part, la littérature mentionne régulièrement qu'une seule année d'entraînement à la lecture est suffisante pour que l'asymétrie de l'empan perceptif se mette en place (Aghababian & Nazir, 2000 ; Ducrot et al., 2003 ; Rayner, 1998). Cependant, la valeur du ratio de l'asymétrie gauche-droite n'a pas fait l'objet chez l'enfant d'une estimation empirique aussi précise que celle réalisée pour l'adulte par Nazir et collaborateurs (1991). De manière à pallier ce défaut de données, nous avons proposé une adaptation du protocole élaboré par Nazir et al. à 12 élèves de CE2 (5 garçons et 7 filles d'âge moyen 8 ans 4 mois) scolarisés au sein de l'école Paul Emile Victor de Lyon. Tous les enfants interrogés étaient droitiers, de langue maternelle française, avec vision normale ou corrigée et n'ont jamais rencontré de problèmes en lecture. Les participants ont été confrontés à une tâche de discrimination de lettres cibles (i.e.  $c$ ,  $o$ ,  $f$  ou  $t$  suivant les cas) dissimulées dans une séquence de « k », fixée sur la première lettre (i.e., la séquence est alors présentée dans le champ visuel droit) ou sur la dernière lettre (i.e., la séquence est alors présentée dans le champ visuel gauche). Ces lettres cibles pouvaient apparaître dans chacune des 9 positions possibles de la séquence. Le graphique de la Figure 12 présente les proportions de discrimination correcte de la lettre cible suivant la place occupée par cette dernière au sein de la chaîne de lettres présentée. Les

résultats ont été rapportés séparément suivant que les stimuli apparaissaient à droite (*carrés violets*) ou à gauche (*carrés verts*) de la position du regard. Ainsi que les droites de régression le montrent (*droite violette* : présentations dans le champ visuel droit ; *droite verte* : présentations dans le champ visuel gauche), la probabilité de repérer une lettre parmi d'autres décroissait plus rapidement dans le champ visuel gauche que dans le champ visuel droit, suivant un facteur de  $.06/.04=1.5$ . En d'autres termes, lorsque les performances diminuaient de 10% pour une excentricité donnée dans le champ visuel droit, elles diminuaient de 15% pour la même excentricité dans le champ visuel gauche.



**Figure 12.** Le graphique présente les taux de discrimination correcte des lettres cibles en fonction de leur position dans la séquence de « k ». La position 1 représente la condition où la cible se trouve directement sous la fixation et la position 9 la condition où la cible est la plus éloignée du point de fixation. Les données sont présentées séparément pour les cas où l'information apparaît dans le champ visuel gauche (CVG, carrés violets) et dans le champ visuel droit (CVD, carrés verts).

Les résultats obtenus à l'issue de cette tâche mettent en évidence une asymétrie de reconnaissance des lettres plus réduite chez les jeunes lecteurs que chez les adultes experts, pour lesquels un ratio de 1.8 avait été obtenu (Nazir et al., 1991).

#### IV.2.1.2.2 Estimation du taux de diminution de la lisibilité des lettres en vision périphérique

Contrairement aux précédents paramètres, le taux de diminution de la lisibilité des lettres situées en vision périphérique  $b_{right}$  présente une forte sensibilité aux conditions de présentation visuelle des mots. La valeur de ce paramètre varie donc suivant les caractéristiques de l'expérience pour laquelle les simulations sont envisagées.

Suivant la procédure développée par Benboutayab (2004), la valeur du  $b_{right}$  peut être établie sur la base des résultats enregistrés lors du traitement des pseudo-mots, condition dans laquelle la production d'une réponse correcte dépend principalement des informations

visuelles extraites du percept. Plus précisément, les valeurs de  $a$  et du ratio d'asymétrie ayant été fixées, le paramètre  $b_{right}$  est modifié par ajustements successifs de manière à approcher au plus près les résultats empiriques.

Le graphique de la Figure 13 présente les proportions de réponses correctes observées (points verts) et calculées selon le modèle CLIP (courbe rose), pour les pseudo-mots de 5 lettres présentés aux enfants normaux lecteurs scolarisés en CE2. Les résultats sont exprimés en fonction de la position de fixation imposée dans la séquence. La courbe théorique rapportée correspond à un taux de diminution de lisibilité des lettres  $b_{right}$  de .055, ayant permis de se rapprocher au plus près des courbes empiriques, d'après la distance mesurée par l'écart quadratique moyen (Root Mean Square Deviation).

Les valeurs de RMSD ont été obtenues par le calcul suivant : 
$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}}$$

Equation 8 : où  $O_i$  représente la valeur empirique,  $P_i$  la valeur théorique et  $n$  le nombre de valeurs. Plus les valeurs obtenues sont petites et plus l'écart entre les données comparées est faible.

Les tâtonnements empiriques effectués ont parallèlement révélé que la perte de lisibilité des lettres apparaissant dans le champ visuel gauche a été très largement sous estimée par la tâche de détection de lettres cibles présentée dans le paragraphe précédent. En effet, les courbes empiriques ne pouvaient être approchées de manière satisfaisante à moins d'imposer un ratio d'asymétrie de 2.2 au lieu du ratio de 1.5 calculé. Le protocole de Nazir et al. (1991), utilisé avec succès auprès des lecteurs experts, n'est donc pas adapté à la mesure de l'asymétrie visuelle dans le traitement du langage écrit chez des enfants moins expérimentés.

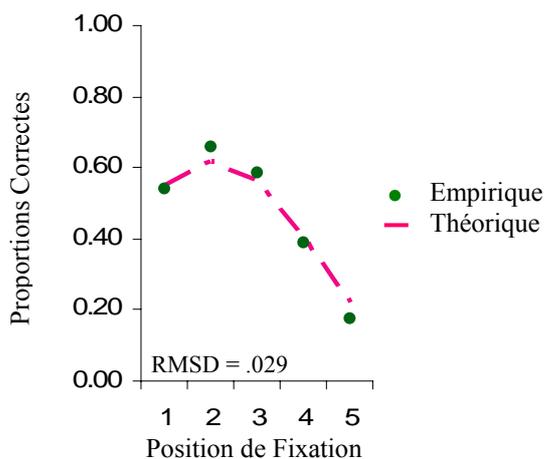


Figure 13 Proportion de réponses correctes observées (points verts) et calculées (courbe rose) pour les pseudo-mots présentés aux enfants normaux lecteurs, suivant la position de fixation imposée. La distance séparant les deux courbes, mesurée par l'écart quadratique moyen (RMSD) a été reportée sur le graphique. La courbe théorique a été calculée avec une probabilité d'identification de la lettre fixée  $a$  de 1 et un ratio d'asymétrie de 2.2. Le taux de diminution  $b_{right}$  de la lisibilité des lettres définissant la pente de la courbe théorique s'élevait à .055.

#### IV.2.1.3 Estimation du taux d'identification correctes des mots de 5 lettres suivant la position de fixation

Les probabilités théoriques de reconnaissance des mots ont été calculées au moyen d'un programme écrit en Perl 5.8.7 et tournant sous Windows XP. Ces simulations exploitent les valeurs des paramètres visuels arrêtées dans les paragraphes précédents, en référence aux données de la littérature et aux profils de réponses observés pour les pseudo-mots. Pour mémoire, la probabilité  $a$  de reconnaissance de la lettre placée directement sous le focus du regard a été élevée à 1, le ratio de l'asymétrie gauche-droite augmenté à 2.2 et le taux de diminution de la lisibilité des lettres  $b_{right}$  fixé à .055. Rappelons également que les inférences lexicales sont calculées sur la base d'un lexique de 4000 mots fréquents, acquis précocement. Dans un souci de clarté et de concision, seuls les résultats empiriques obtenus pour les mots de 5 lettres ont été modélisés.

Le graphique de la Figure 14 présente les proportions de réponses correctes théoriques (courbe rose) et observées auprès des enfants normaux lecteurs (points verts), suivant la position de fixation imposée. La distance séparant les courbes théoriques et empiriques a été mesurée au moyen de la RMSD, dont la valeur a été reportée sur le graphique. Ainsi que le montre clairement la Figure, les valeurs théoriques calculées approchaient de manière très satisfaisante les résultats empiriques, tant sur le plan de la hauteur que de la forme de la courbe d'effet de la position du regard.

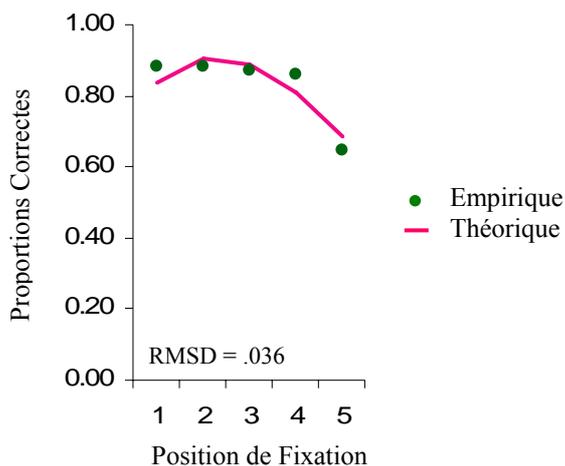


Figure 14. Proportion de réponses correctes observées (courbe verte) et calculées (courbe rose) pour les mots présentés aux enfants normaux lecteurs, suivant la position de fixation imposée. La distance séparant les deux courbes, mesurée par l'écart quadratique moyen (RMSD) a été reportée sur le graphique. La courbe théorique a été calculée avec une probabilité d'identification de la lettre fixée  $a$  de 1 et un ratio d'asymétrie de 2.2. Le taux de diminution  $b_{right}$  de la lisibilité des lettres définissant la pente de la courbe théorique s'élevait à .055.

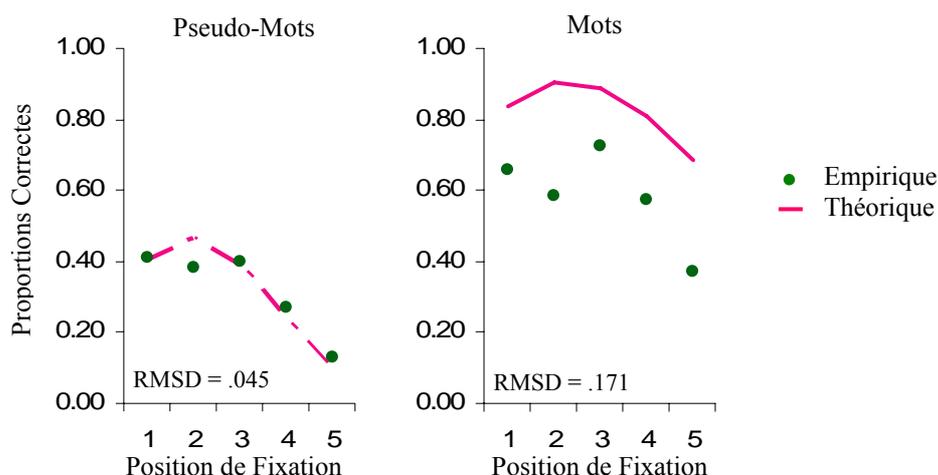
## IV.2.2 Simulation des données comportementales des enfants dyslexiques de surface : Méthode et Résultats

### IV.2.2.1 Estimation de l'altération de la valeur des paramètres visuels de référence

Dans le cadre de la simulation du comportement atypique des enfants dyslexiques face à l'écrit, le fonctionnement du modèle a tout d'abord été entravé par dégradation des valeurs des paramètres visuels calculées pour les normaux lecteurs, en accord avec les données réelles collectées (voir pp. 40-42). La probabilité  $a$  de reconnaissance de la lettre directement fixée a été abaissée à .97, le ratio de l'asymétrie gauche-droite augmenté à 2.4 et le taux de diminution de la lisibilité des lettres  $b_{right}$  augmenté à .065. En première intention, les inférences lexicales ont été calculées sur la base du lexique virtuel de 4000 mots, conforme au savoir lexical d'un enfant ordinaire scolarisé en CE2.

Les graphiques de la Figure 15 présentent les proportions de réponses correctes théoriques (courbe rose) et observées auprès des enfants dyslexiques (points verts), suivant la position de fixation imposée. Les données concernant les pseudo-mots ont été rapportées dans le graphique de gauche, celles concernant les mots dans le graphique de droite. La distance séparant les courbes théoriques et empiriques a été mesurée au moyen des RMSD, dont les valeurs ont été reportées sur chaque graphique.

Une bonne corrélation a été obtenue entre les courbes empiriques et théoriques des pseudo-mots. En revanche, les taux d'identification des mots des participants dyslexiques ont été largement surestimés par le modèle mathématique, ainsi qu'en témoigne l'augmentation de la valeur du RSMD.



**Figure 15.** Proportions de réponses correctes observées auprès des enfants dyslexiques de surface (points verts) et calculées (courbes roses) lors du traitement des pseudo-mots (graphique de gauche) et des mots (graphique de droite), aux différentes positions de fixation imposées. Les courbes théoriques ont été calculées avec une probabilité d'identification de la lettre fixée  $a$  abaissée à .97, un ratio d'asymétrie augmenté à .24 et un taux de diminution de la lisibilité des lettres  $b_{right}$  augmenté à .65. Ces résultats s'entendaient pour des conditions où les enfants dyslexiques possèderaient des connaissances orthographiques conformes à leur âge lexique, de niveau CE2. La distance séparant les deux courbes, mesurée par l'écart quadratique moyen (RMSD), a été reportée sur chaque graphique.

#### IV.2.2.2 Estimation de l'altération du savoir lexical de référence

De manière à tenir compte d'une possible limitation qualitative et quantitative du lexique orthographique des enfants porteurs de troubles du langage, les modélisations réalisées sur les mots ont été reconduites sur un sous-ensemble de 1300 mots, sélectionnés pour avoir la fréquence cumulée CP/CE1 la plus élevée parmi les 4000 mots constituant le lexique virtuel des enfants de CE2. Le résultat de ces simulations a été reporté dans le graphique de la Figure 16, qui présente les proportions de réponses correctes théoriques (courbe rose) et observées (points verts) auprès des participants dyslexiques, selon la position du regard dans le mot. Ainsi que le graphique le met en évidence, la réduction de l'étendue du vocabulaire en réception a très nettement permis d'approcher fidèlement le profil de performance mesuré auprès des enfants dyslexiques. Cette observation est attestée par la réduction de la valeur de RMSD. La distance séparant les courbes observée et théorique est cependant restée plus importante que celle mesurée lors des simulations réalisées auprès des normaux lecteurs, en raison d'une chute du taux d'identification en seconde position de fixation, non prédite par le modèle.

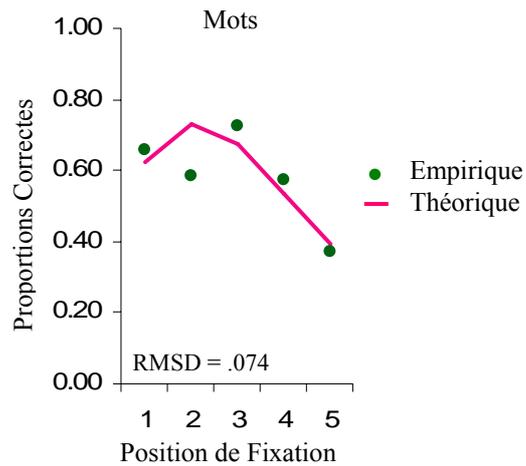


Figure 16. Proportions de réponses correctes observées auprès des enfants dyslexiques de surface (points verts) et calculées (courbes roses) lors du traitement des mots, suivant la position de fixation imposée. Les courbes théoriques ont été calculées avec une probabilité d'identification de la lettre fixée  $a$  abaissée à .97, un ratio d'asymétrie augmenté à .24 et un taux de diminution de la lisibilité des lettres  $b_{right}$  augmenté à .065. Les inférences lexicales ont été calculées en référence à un lexique orthographique restreint aux 1300 mots les plus fréquents extraits du savoir lexical estimé pour des enfants de CE2 ordinaires. La distance séparant les deux courbes, mesurée par l'écart quadratique moyen (RMSD), a été reportée sur le graphique.

## V DISCUSSION

Le présent travail propose une adaptation d'un protocole issu des recherches en psychophysique (Nazir et al. 1991 ; Kajii & Osaka, 2000), visant à faire progresser la compréhension des troubles cognitifs sous-tendant la dyslexie de surface, dans le but de développer un nouvel outil d'aide au diagnostic de cette pathologie du langage écrit.

Nos résultats s'accordent avec les travaux précédents conduits dans ce domaine (Aghababian, 1998 ; Aghababian & Nazir, 2000) en mettant en évidence un robuste effet de la position du regard dans le mot chez les enfants normaux lecteurs. Le taux d'identification correcte était ainsi maximal lorsque l'œil se posait légèrement à gauche du centre du stimulus - zone autorisant l'extraction du plus grand nombre de lettres – et décroissait ensuite à mesure que le regard s'écartait de sa position optimale. Cette diminution était plus marquée pour les fixations concernant la fin des mots, pour lesquelles un maximum d'information tombait dans le champ visuel gauche. Les données obtenues ont également révélé que les capacités d'identification des enfants dyslexiques interrogés variaient suivant la région du stimulus fixée. Bien que des résultats similaires aient été mentionnés dans la littérature (voir en particulier Ducrot et al., 2003), notre étude est la première à établir clairement l'existence d'un tel effet sur le comportement d'enfants présentant un profil de dyslexie de surface. En dépit de cette similitude d'aspect des courbes d'EPR établies dans les deux groupes de participants, la proportion d'items correctement identifiés était abaissée chez les enfants dyslexiques, s'agissant de la forme globale aussi bien que des lettres constitutives. Ce constat se vérifiait pour les pseudo-mots aussi bien que pour les mots, et était majoré lors du traitement des séquences longues. Ces résultats s'expriment en faveur d'une altération de la quantité et/ou de la qualité des informations extraites des séquences verbales écrites au cours d'une fixation unique, chez les dyslexiques testés.

Tous les participants présentaient par ailleurs des performances supérieures pour le traitement des mots à celles observées pour les pseudo-mots. Les connaissances lexicales intervenaient donc dans le processus d'identification, aussi bien chez les dyslexiques que chez les normaux lecteurs. Cet avantage restait cependant moins marqué chez les enfants dyslexiques, qui produisaient de surcroît davantage de terminaisons orthographiquement illégales en français.

Ces données suggèrent que les enfants dyslexiques testés possédaient un lexique orthographique encore faible, qui limitait leur efficacité de reconnaissance des mots. Ce double aspect perceptif et lexical du déficit constaté chez les participants dyslexiques a été clairement confirmé par les modélisations réalisées au moyen du modèle CLIP (Kajii & Osaka, 2000). Il est apparu ainsi que l'explication mathématique du profil de performance déviant enregistré pour les mots courts dans ce groupe reposait sur une dégradation des paramètres visuels calculés pour les normaux lecteurs, associée à une diminution de l'étendue des connaissances orthographiques estimées pour l'âge lexical correspondant.

## **V.1 Altération des stratégies d'analyse visuelle dans la dyslexie de surface**

D'après les travaux de Nazir et collègues (1991), l'identification des mots écrits au cours d'une fixation unique est permise par la récupération de l'information disponible dans chacune de leurs lettres. L'obtention d'une courbe d'EPR dans le paradigme de la position variable du regard dans le mot atteste de la mise en œuvre d'une stratégie pertinente d'extraction de ces informations (Aghababian & Nazir, 2000). En accord avec notre première hypothèse, la mise en évidence de ce profil de performances chez nos participants dyslexiques confirme qu'en l'absence de déficit altérant le fonctionnement de leur voie phonologique, ces enfants sont capables – jusqu'à un certain degré - d'utiliser des stratégies analytiques similaires à celles développées par les normaux lecteurs au cours de leur apprentissage du langage écrit. En particulier, les enfants dyslexiques testés semblent avoir compris que les mots ne peuvent pas être discriminés à partir du repérage de quelques traits saillants mais que leur identification repose nécessairement sur le traitement parallèle de la totalité de leurs lettres.

Néanmoins, en dépit des compétences acquises, les capacités d'identification des enfants dyslexiques sont restées quantitativement inférieures à celles des normaux lecteurs. Les réponses collectées ont confirmé que les difficultés rencontrées par les dyslexiques interrogés étaient partiellement attribuables à un défaut d'extraction de certaines informations visuelles contenues dans les formes écrites présentées. En premier lieu, la précision de reconnaissance des pseudo-mots courts et longs était moindre chez les dyslexiques que chez les normaux lecteurs. Ces résultats ne sont pas explicables en terme de suppléance plus efficace par le savoir orthographique dans l'un des groupes, attendu que les pseudo-mots ne

sont directement associés à aucune représentation en mémoire. Ensuite, les analyses menées au niveau des lettres ont révélé que les enfants porteurs d'un trouble de la lecture identifiaient moins efficacement les lettres directement fixées que leurs homologues normaux lecteurs. Ces enfants présentaient en outre des proportions de reconnaissance plus faibles des lettres situées à l'intérieur des stimuli (i.e. P2 à P4). Enfin, contrairement à ce qui était observé auprès des normaux lecteurs, les fixations en position optimale ne permettaient pas d'homogénéiser la lisibilité des lettres incluses dans les séquences présentées, alors même que ces dernières ne comportaient pas plus de 5 lettres.

Toutefois, contrairement à nos prédictions, rien dans les profils établis auprès des dyslexiques ne permettait d'attribuer ces dysfonctionnements à une réduction de l'empan perceptif. En effet, la présence d'un empan perceptif limité ne devrait pas autoriser la détection des lettres tombant à l'extérieur de ses frontières. Du point de vue de la reconnaissance des formes globales, Aghababian et Nazir (2000) ont démontré que la réduction de l'empan perceptif entraînait une transformation de la courbe classique d'EPR - en U inversé - en une fonction en V inversé, chez les lecteurs faibles. Au contraire, dans la présente étude, aucune interaction de la position de fixation et du profil de lecture n'a été obtenue. Ce résultat confirme que, d'un point de vue qualitatif, l'effet de position du regard se manifestait de manière équivalente dans les deux groupes testés. Cette analogie entre les profils de réponse a été confirmée par les analyses conduites au niveau des lettres. Pour l'ensemble des participants, une diminution progressive du taux d'identification des lettres était enregistrée à mesure que la distance séparant ces lettres de la position de fixation courante augmentait. Ce résultat est conforme au processus normal d'identification des mots, tel qu'il est envisagé par Nazir et collègues (1991). D'autre part, indépendamment de la région des stimuli fixée, les taux d'identification des premières et dernières lettres des séquences connaissaient une ré-augmentation systématique. Cet avantage pour les lettres situées aux frontières des items était en outre plus marqué pour celles qui apparaissaient en position initiale. Cette déviation préférentielle du regard vers le début des mots serait la conséquence naturelle des habitudes de lecture de gauche à droite dans les systèmes occidentaux (Nazir, 2000 ; Nazir, Benboutayab, Decoppet, Deutsch & Frost, 2004 ; Brysbaert & Nazir, 2006).

L'organisation des profils de résultats enregistrés auprès de nos participants dyslexiques suggère donc que ces enfants sont capables de mobiliser leur attention de manière à détecter des lettres distantes du point de fixation courant, dans leurs deux champs visuels. Les dyslexiques sont en revanche fortement pénalisés par la présence de lettres jouxtant les lettres

à identifier. Cet effet de masquage latéral existe également, dans une moindre mesure, chez les normaux lecteurs. Bouma et Legein (1977) ont attribué ce phénomène à la diminution de l'acuité visuelle en vision parafovéale, associée à une inhibition latérale de bas niveau, qui s'exerce entre les neurones voisins sollicités au cours des étapes précoces du traitement visuel. De ce fait, les effets de masquage latéral deviennent plus visibles avec l'augmentation du nombre de lettres adjacentes (Spinelli, De Luca, Judica & Zoccolotti, 2002). L'accentuation de la diminution du taux d'identification des lettres intégrées dans les séquences longues (i.e. mots et pseudo-mots de 7 lettres) observée auprès de nos enfants normaux lecteurs et dyslexiques est cohérente avec cette interprétation. Toutefois, l'approche de Bouma et Legein a été questionnée par les récentes recherches conduites par Pernet, Valdois, Celsis et Démonet (2006). Ces auteurs ont mis en évidence une modulation d'amplitude de l'effet de masquage latéral par la demande cognitive de la tâche. Les performances de participants adultes lecteurs experts étaient ainsi davantage affectées par la présence de lettres adjacentes dans le contexte d'une tâche de catégorisation, mobilisant des aptitudes perceptives et mnésiques, que dans celui d'une simple épreuve de discrimination. En accord avec le postulat de Pelli, Paomares et Majaj (2004), ces résultats ont été interprétés en faveur d'une intervention plus tardive du masquage latéral dans les processus participant à la perception visuelle. Suivant cette hypothèse alternative, les traits perceptifs seraient correctement intégrés, mais la représentation mentale de la forme écrite perçue serait rendue ambiguë par l'intégration de traits surnuméraires, associant des éléments appartenant aux lettres cibles et à leurs voisines. L'ambiguïté des représentations perceptives ainsi construites gênerait tout particulièrement les activités nécessitant leur mise en relation avec certaines informations conservées en mémoire, dont les tâches de catégorisation sont un exemple. Des recherches ultérieures ont précisé ce postulat en associant les effets de masquage latéral aux traitements spatio-attentionnels engagés dans la détection et la sélection des cibles (voir Pernet et al., 2006 pour un aperçu de ces travaux) et qui impliqueraient le système magnocellulaire (voir paragraphe suivant).

L'accentuation des phénomènes de masquage latéral observée auprès de nos enfants dyslexiques trouve un écho dans la littérature (Bouma & Legein, 1977 ; Klein, Berry, Briand, D'entremont & Farmer, 1990) et a été interprétée comme signe d'une atteinte magnocellulaire (Pernet et al., 2006). La théorie magnocellulaire de la dyslexie, née de l'observation de traitements visuels déficitaires chez les dyslexiques, a été inspirée par l'étude des propriétés anatomiques des voies visuelles mobilisées lors de la lecture (Démonet, Taylor & Chaix,

2004). Environ 10% des cellules ganglionnaires qui transmettent les signaux arrivant à l'œil au reste du cerveau possèdent une taille supérieure aux autres. Ces cellules, qui reçoivent de la lumière en provenance de territoires plus larges, ont une sensibilité plus fine et une réactivité plus importante aux informations qui surviennent sur de vastes régions du champ visuel. En contrepartie, leur sensibilité aux détails fins ou aux couleurs est amoindrie. Les cellules magnocellulaires, qui dominent la voie dorsale de la lecture, se projettent sur l'aire visuelle primaire dans le cortex occipital via les couches magnocellulaires du noyau géniculé latéral (NGL par la suite). Il a été démontré que les dyslexiques présentaient une légère réduction de sensibilité aux basses fréquences spatiales, aux faibles niveaux de luminance et aux mouvements visuels, traités préférentiellement par le système magnocellulaire (Cornelissen, Hansen, Bradley & Stein, 1995). Ces données sont venues appuyer les analyses post-mortem de Galaburda, Menard et Rosen (1994 ; cité par Stein, 2001) mettant en évidence une désorganisation des couches magnocellulaires du NGL, et une réduction de près de 30% de la taille des magnocellules, comparativement aux cerveaux contrôles. D'après Stein et Walsh (1997), l'altération des performances et/ou de la distribution des magnocellules du NGL retentirait sur la lecture en raison des connexions reliant cette structure au cortex pariétal postérieur. Cette région corticale, dont la lésion provoque des troubles de la lecture acquis (Kinsbourne & Warrington, 1962 ; cité par Stein & Walsh, 1997), joue en effet un rôle important dans le contrôle du mouvement des yeux, l'attention visuo-spatiale et la vision périphérique, composants cruciaux du traitement du langage écrit.

En résumé, il est envisageable que les enfants dyslexiques confrontés à notre paradigme de position variable du regard dans le mot présentent des capacités spatio-attentionnelles déficitaires, les empêchant de construire des percepts suffisamment détaillés pour permettre un appariement efficace avec des représentations conservées en mémoire. Ce phénomène expliquerait partiellement la réduction de l'effet de lexicalité relevé auprès de ces enfants, par comparaison avec le groupe des normaux lecteurs. Les simulations réalisées avec le modèle CLIP (Kajii & Osaka, 2000) confirment l'implication d'un trouble de l'analyse visuelle chez les enfants dyslexiques, mais démontrent parallèlement que ce déficit ne décrit qu'une partie de la diminution drastique de leur capacité d'identification des mots. Une explication complémentaire doit donc être recherchée dans les caractéristiques particulières du lexique orthographique de ces enfants.

## **V.2 Altération du développement du savoir orthographique dans la dyslexie de surface**

La lecture constitue un apprentissage dynamique, guidé à la fois par la sensibilité implicite de l'enfant à la régularité statistique de sa langue (Seidenberg & McClelland, 1989), le matériel verbal auquel il est confronté (McClelland, Thomas, McCandliss & Fiez, 1999), et les enseignements explicites dont il bénéficie tout au long de sa scolarité (Gombert & Colé, 2003). De longue date, les modèles connexionnistes parallèles et distribués qui se sont développés dans la lignée des travaux de Seidenberg et McClelland ont défendu l'idée que l'apprentissage était une fonction exponentielle de la pratique, et que l'assimilation des formes orthographiques reposait sur des confrontations répétées avec des éléments du langage écrit. Le comportement de ces modèles laisse envisager que les confrontations répétées avec certains indices récurrents du langage écrit amènent l'enfant à développer de manière autonome un ensemble de règles critiques, qui ne lui sont pas directement imposées par des tiers. L'apprentissage des premières formes écrites mobiliserait alors d'importantes ressources cognitives, jusqu'à acquisition d'un stock crucial. Passé ce stade, les jeunes lecteurs commenceraient à réinvestir leur connaissance implicite de la structure de la langue au moment de la rencontre avec des mots inconnus, entraînant un accroissement exponentiel de leur vocabulaire orthographique (Zevin & Seidenberg, 2002).

Les analyses menées par Lété (2003, 2004) sur un corpus significatif de manuels scolaires donnent un aperçu réaliste de l'évolution quantitative du lexique écrit en réception des élèves scolarisés entre le CP et le CM2. Il apparaît ainsi qu'un manuel de CP contient en moyenne 13 300 mots, dont 2500 formes écrites différentes et 1900 lemmes. Un manuel de CE1 comprend en moyenne 1000 lemmes supplémentaires, tandis que les ouvrages destinés au CE2-CM2 possèdent 3000 lemmes de plus. En fin de Cycle 3, le vocabulaire écrit passif des élèves comprendrait donc environ 5000 unités distinctes. Les simulations réalisées au moyen du modèle CLIP (Kajii & Osaka, 2000) rejoignent ces estimations en montrant que l'utilisation d'un stock lexical de 4000 mots permettait de prédire fidèlement les performances des enfants normaux lecteurs scolarisés en CE2. Il a en revanche été nécessaire d'amputer ce lexique virtuel de près de deux tiers de ses exemplaires pour rendre compte de l'importante chute des taux d'identifications correctes des mots de 5 lettres enregistrée chez les participants dyslexiques. Ce résultat suggère que les stratégies d'appréhension de l'écrit adoptées par les enfants dyslexiques interrogés ne favorisent pas l'accroissement de leurs connaissances

lexicales. Une explication à ce remarquable amenuisement du lexique orthographique peut être trouvée dans les études menées par Stanovitch (1986, cité par Lété, 2003). D'après cet auteur, en effet, l'expertise fragile des enfants en difficulté de lecture les entraîne inmanquablement dans une spirale négative. Ces enfants qui lisent peu en raison de leur déficit rencontrent un échantillon de texte moins varié, et sont confrontés à un nombre de mots réduit. Le recours au contexte pour déduire le sens de mots nouveaux est de ce fait nécessairement limité, et avec lui l'aptitude plus générale à augmenter le vocabulaire écrit de manière incidente.

Conformément au postulat des modèles connexionnistes évoqué plus haut, l'assimilation de l'écrit est cependant loin de se réduire à une accumulation d'instances. La capacité des individus à tirer parti de leur environnement linguistique écrit pour intégrer une connaissance généralisable à de nouvelles occurrences constitue la pierre angulaire de cet apprentissage. En l'absence de trouble spécifique, cette faculté de généralisation se développe sans le concours direct d'un apprentissage explicite du système de règles organisant la langue. Cette hypothèse est soutenue par les récents travaux de Martinet, Valdois et Fayol (2003), mettant en évidence que trois mois seulement après le début de l'enseignement de la lecture, les enfants transcrivent les pseudo-mots en utilisant préférentiellement les séquences rencontrées dans les mots, par mécanisme d'analogie. Après neuf mois d'apprentissage de la lecture, les enfants privilégiaient en outre les séquences légales les plus fréquentes dans les mots. Cette tendance met en évidence l'existence d'un lien entre l'évolution des connaissances générales des correspondances grapho-phonémiques et l'augmentation de l'exposition au matériel écrit. Les éléments collectés au cours de notre recherche suggèrent que l'élaboration et/ou la mise en œuvre d'un principe linguistique généralisable est déficitaire chez les enfants dyslexiques testés. Ces enfants tendaient ainsi à produire un nombre important de séquences terminales illégales en cas de non reconnaissance des mots présentés. Ces résultats s'accordent avec les travaux de Martinet et Valdois (1999) qui montrent que certaines erreurs issues des productions écrites des dyslexiques de surface ne sont pas repérées chez des enfants plus jeunes. A l'issue d'une analyse des productions écrites de dyslexiques de surface, ces auteurs ont en effet mis en évidence un faible usage des indices orthographiques spécifiques et de nombreuses erreurs sur les graphies contextuelles. Ces observations témoignent d'une faible sensibilité à l'organisation infra-lexicale du français, contribuant vraisemblablement à complexifier l'acquisition de nouveaux mots. Une analyse linguistique plus fine du corpus d'erreur constitué à l'issue de notre étude reste nécessaire

pour affiner la description des principes orthographiques déviants chez les dyslexiques et quantifier de manière réaliste leur incidence sur le développement lexical.

## **V.3 Perspectives**

### **V.3.1 Validité du paradigme de la position variable du regard pour les analyses individuelles**

Les résultats détaillés dans les paragraphes précédents concernaient un groupe d'enfants dyslexiques de surface, et ne donnaient aucune information quant à la pertinence de l'utilisation du paradigme de la position variable du regard dans le mot pour l'analyse des performances individuelles. Au cours du présent chapitre, nous proposons une évaluation succincte de la validité des critères distinctifs établis sur la base de l'examen des groupes pour la description des profils de chacun des 9 enfants dyslexiques testés.

#### **V.3.1.1 Effet de la position du regard dans le mot**

La Figure 17 présente les proportions de réponses correctes mesurées sur les mots (courbes pleines) et sur les pseudo-mots (courbes pointillées), suivant la position de fixation. Les données sont présentées séparément pour chaque enfant interrogé. Ainsi que le montrent clairement les graphiques, l'avantage des mots sur les pseudo-mots observé pour le groupe se retrouve au niveau individuel. La variation caractéristique des performances en fonction des régions du mot fixées a également été retrouvée, et 8 enfants sur 9 présentaient un net avantage pour les fixations proches du centre des mots (i.e. P2 ou P3). L'interprétation des profils individuels associés aux pseudo-mots était moins évidente, probablement en raison d'un effet plancher chez certains enfants (voir par exemple S5).

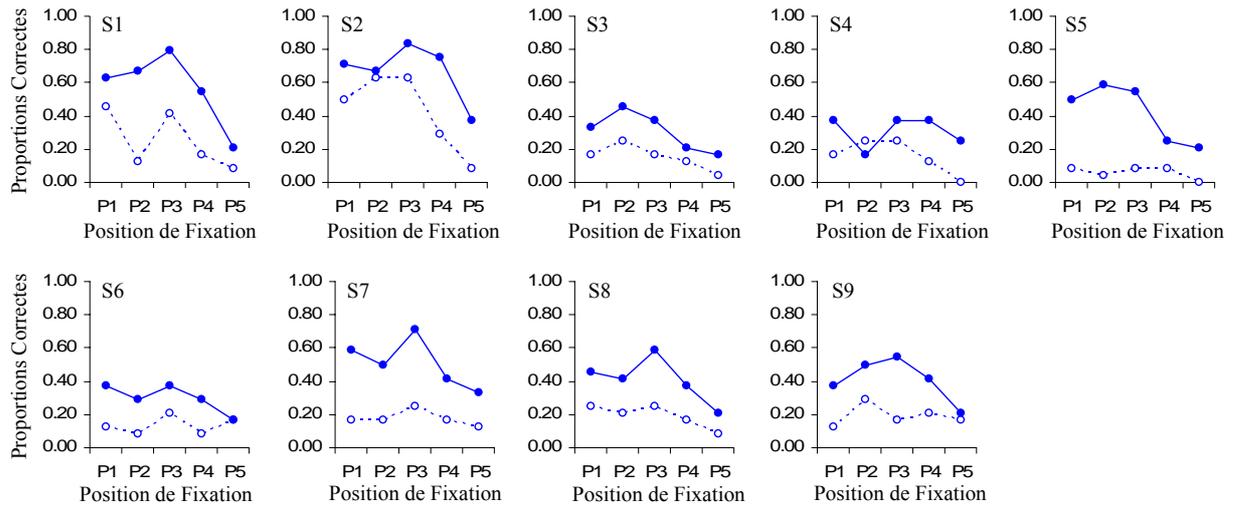
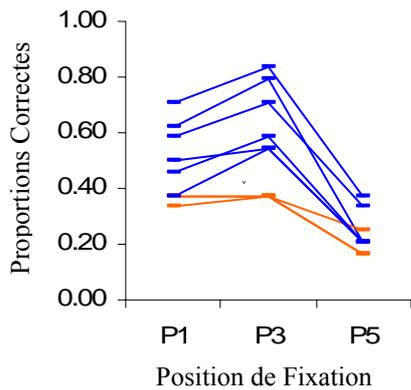


Figure 17. Proportion de réponses correctes observées pour les mots (courbes pleines) et les pseudo-mots (courbes pointillées), suivant la position du regard. Les résultats sont présentés séparément pour chaque enfant dyslexique testé (S1 à S9). Les données montrent que les performances individuelles reflètent les effets de lexicalité et de position de fixation mis en évidence sur la moyenne du groupe.

### V.3.1.2 Etendue de l'empan perceptif

Le graphique de la Figure 18 décrit les proportions de reconnaissance correcte des mots enregistrées en position de fixation optimale (P3) et lorsque le regard se posait au début et à la fin des mots (P1 et P5), toutes longueurs confondues. On ne relève chez aucun des enfants dyslexiques testés une altération de la courbe allant nettement dans le sens d'une réduction de l'empan perceptif. Au contraire, tous les enfants présentaient l'avantage classique des fixations à gauche de la position optimale : les mots étaient mieux reconnus lorsque la majeure partie des informations infra-lexicales tombaient dans leur champ visuel droit (CVD) que dans leur champ visuel gauche (CVG). Pour 3 des 9 enfants, les proportions de réponses correctes étaient faibles à toutes les positions de fixation et rendaient difficile l'interprétation des courbes (courbes oranges). Pour les autres (courbes bleues), les proportions de réponses correctes avoisinaient les 40% lorsque les mots étaient fixés en P1 et signalaient que l'empan perceptif était suffisamment large pour permettre l'identification d'une partie substantielle des mots apparaissant à l'écran. Si l'on se réfère aux travaux de Aghababian et Nazir (2000), de telles performances ne pourraient pas être observées auprès d'enfants possédant une réduction importante de l'empan perceptif. Considérons l'exemple du mot TABLEAU fixé au niveau de la première lettre « T ». Un enfant dont l'empan se limiterait à +/-2 lettres ne pourrait identifier que le trigramme TAB. La quantité d'information extraite serait alors insuffisante pour reconnaître efficacement le mot, entraînant une chute drastique des performances pour cette position de fixation.

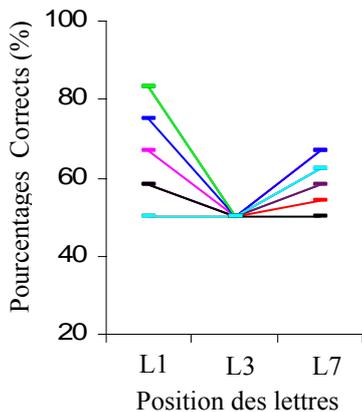


**Figure 18.** Proportions d'identification correcte des mots suivant la position du regard, mesurées auprès de chaque enfant dyslexique. Les données sont présentées toutes longueurs confondues. Les courbes oranges pointent les résultats des deux participants pour lesquels les scores faibles rendaient l'interprétation des résultats difficile. L'allure des courbes des 7 enfants restant attestait que la largeur de leur empan était suffisante pour leur permettre de traiter des informations distantes du point de fixation imposé.

### V.3.1.3 Identification des lettres suivant leur position sérielle dans le mot

La Figure 19 permet d'observer, pour les mots de 7 lettres, l'importance des écarts mesurés entre le taux d'identification de la lettre directement fixée, arbitrairement réglé à 50%, et les taux correspondants mesurés pour la première ou la dernière lettre. Ces données concernent la position de fixation optimale (P3), pour laquelle une équiprobabilité de reconnaissance de la totalité des lettres a été établie auprès de notre groupe de normaux lecteurs, en accord avec les précédentes études (Aghababian, 1998 ; Aghababian & Nazir, 2000). Une couleur différente a été attribuée à chaque participant. L'examen des profils individuels a révélé, qu'en position optimale, 6 des 9 enfants dyslexiques présentaient un écart de performance (positif ou négatif) d'au moins 10% entre la lettre fixée et la lettre initiale et/ou finale. Les profils individuels confirment que la majorité des dyslexiques interrogés ne présentait pas l'homogénéisation de la lisibilité des lettres en position optimale, caractéristique de la lecture normale.

Les résultats correspondant établis pour les mots de 5 lettres ne nous permettaient pas de distinguer clairement les dyslexiques du groupe des normaux lecteurs, et n'ont pas été reportés ici. Du point de vue du critère de lisibilité des lettres, l'épreuve de position variable du regard dans le mot se révélait donc plus discriminante pour les mots de 7 lettres.



**Figure 19** Ecart mesuré entre le taux de reconnaissance de la lettre directement fixée en P3 (L3), arbitrairement réglé à 50%, et le taux de reconnaissance de la première (L1) et de la dernière lettre (L7) des mots de 7 lettres. Une couleur différente a été attribuée à chaque enfant dyslexique testé. Les résultats montrent que, pour la majorité des enfants, les fixations en position optimale ne généraient d'équiprobabilité de reconnaissance de la totalité des lettres incluses dans les mots.

En résumé, les analyses inter-individuelles montrent que les profils des enfants dyslexiques sont généralement cohérents avec les tendances du groupe. Ces résultats appuient la pertinence du protocole expérimental utilisé et des critères descriptifs dégagés pour caractériser les stratégies déviantes du traitement des mots écrits isolés, chez certains enfants dyslexiques au moins. Néanmoins, des études complémentaires restent indispensables avant de pouvoir affirmer la validité de ces éléments pour la description des comportements atypiques d'une population de dyslexiques plus large.

### **V.3.2 Quelles pistes pour la rééducation ?**

Les résultats de notre étude ont permis d'apporter des précisions quant à la nature du déficit cognitif sous-jacent à la dyslexie de surface. Il est apparu que les enfants dyslexiques testés présentaient à la fois des troubles de l'analyse visuelle des mots et des connaissances orthographiques anormalement faibles.

Concernant le versant perceptif du déficit, Facoetti, Lorusso, Paganoni, Umilta et Mascetti (2003) ont mis en évidence l'intérêt des stimulations visuelles adressées spécifiquement à un hémisphère (Visual Hemisphere Specific Stimulation) chez des enfants dyslexiques présentant des difficultés d'inhibition des informations périphériques situées hors de leur focus attentionnel. En accord avec les travaux de Bakker (1992 ; cité par Facoetti et al., 2003), la sous-utilisation de l'hémisphère droit, impliqué dans les traitements visuels des traits constitutifs des mots, de l'hémisphère gauche, engagé dans les analyses linguistiques, ou des deux hémisphères serait à l'origine des différents sous-types de dyslexie. Conformément à cette approche, Facoetti et collègues ont proposé un entraînement adapté au profil de chacun de leurs enfants dyslexiques, à raison de 2 sessions de 24 minutes par semaine durant 4 mois. Au cours de cet entraînement, des mots de longueur et de complexité variable étaient brièvement présentés (i.e. entre 100 et 250 ms) dans l'hémichamp visuel controlatéral à l'hémisphère sous utilisé. Un effet bénéfique de l'entraînement a été mis en évidence sur la précision et la rapidité de la lecture orale. Les analyses post-entraînement ont également révélé une restauration de l'allongement classique du temps de détection de la cible dans des conditions d'indilage incongruent, dans lesquelles les indices présentés suscitaient un engagement de l'attention visuelle dans une région spatiale distincte de la future zone d'apparition de la cible. Ces résultats ont conduit leurs auteurs à évoquer un possible lien de causalité entre performance en lecture et efficacité du mécanisme visuo-attentionnel responsable de l'inhibition de l'activité des neurones répondant à des stimuli hors des limites

du focus attentionnel. Des exercices de remédiation entraînant spécifiquement l'orientation de l'attention visuo-spatiale et la focalisation de l'attention au niveau global ou local sont actuellement en cours d'évaluation dans l'équipe de Bédoin (Bedoin, Lévy-Sebbag & Keïta, 2005 ; Keïta, Bedoin, Mérigot & Herbillon, 2005 ; Leculier & Roussel, soumis).

Au vu des seuls résultats à l'épreuve de la position variable du regard dans le mot, il n'est pas évident d'attribuer les difficultés d'analyse de notre groupe de dyslexiques à un déficit neuro-visuel ou à une atteinte spatio-attentionnelle de plus haut niveau. Quelle que soit la cause première de leur défaut de construction des percepts, toutefois, les modélisations du CLIP encouragent à penser que les difficultés des participants pourraient être efficacement contournées par une augmentation substantielle de leur stock lexical. Les simulations tenant compte de la dégradation du taux d'identification de la lettre fixée, de l'asymétrie gauche-droite et de la lisibilité des lettres distantes du point de fixation permettaient d'obtenir des résultats quantitativement plus proches des performances des normaux lecteurs, à condition d'utiliser un lexique de taille conforme à celle attendue pour des enfants de CE2. Notre étude fournit donc des arguments robustes en faveur des techniques de rééducation orientées vers l'augmentation du savoir orthographique, telles que proposées par Valdois et Launay (1999) et De Battista et Launay (2005). Ces auteurs préconisent un travail spécifique fondé sur la méthode visuo-sémantique qui, à terme, permet au sujet d'élaborer une image mentale du mot qu'il pourra stocker dans son lexique orthographique, en mémoire à long terme. Le choix du lexique à travailler reste un élément crucial de la rééducation. Les bases de données riches et en constante évolution telles Manulex (Lété et al., 2004), Novlex (Lambert & Chesnet, 2001) ou Lexique (New, Pallier, Ferrand & Matos, 2001) fournissent un support efficace pour la sélection de ce matériel en référence à certains critères pré-définis, comme la fréquence d'occurrence lexicale et infra-lexicale ou l'âge d'acquisition. Ces critères sont essentiels dans la mesure où ils permettent d'entraîner l'enfant sur des exemplaires de sa langue qu'il rencontrera vraisemblablement souvent au cours de ses lectures personnelles. Un caractère écologique sera donc donné au travail entrepris en orthophonie, qui sera avantageusement relayé par l'environnement linguistique des enfants.

Nous avons également vu plus haut (voir Partie Théorique, pp 3-4) que le développement des connaissances orthographiques ne se limitait pas à une accumulation d'instances mais nécessitait l'élaboration d'une structure interne de la langue, généralisable au plus grand nombre de ses exemplaires. Le matériel et les stratégies adoptées par le thérapeute devront donc favoriser le développement des règles implicites du système écrit. Ces règles

orthographiques, qui sont acquises naturellement chez les enfants normaux lecteurs, nécessitent un travail explicite et une attention particulière chez les dyslexiques. Pour faciliter leur assimilation, le thérapeute pourra entre autres s'attacher à exposer les caractéristiques étymologiques des mots, afin que le patient puisse trouver des repères entre différentes configurations, et analyser progressivement les mots nouveaux suivant une base analogique (voir par exemple Bobillier-Chaumont, 1999). La prise en charge d'enfants plus grands, scolarisés dans le secondaire, pourra en outre s'accompagner d'un travail fin sur la morphologie et la métamorphologie, qui aidera l'enfant à prendre conscience que l'orthographe est avant tout fondée sur du sens (i.e analyse systématique des éléments constitutifs du mot). La rééducation envisagée s'articulera donc principalement autour de l'explicitation des règles de la langue et de la sémantisation de l'orthographe.

## VI CONCLUSION

L'utilisation d'un modèle théorique permettant d'examiner la contribution respective des paramètres visuels et lexicaux à l'identification des mots écrits ouvre d'intéressantes perspectives pour comprendre, dépister et réhabiliter les dyslexies. Les résultats obtenus ont démontré que les enfants dyslexiques testés avaient compris le principe de la lecture, dans les systèmes alphabétiques, basé sur le traitement parallèle des lettres composant les mots. Toutefois, l'efficacité de leur stratégie reste fortement limitée par une atteinte de la qualité de l'analyse visuelle des mots écrits. Les difficultés d'extraction des informations contenues dans les mots, révélées par notre protocole expérimental, semblent davantage liées à une accentuation anormale du phénomène de masquage latéral plutôt qu'à une réduction de l'empan perceptif. Ce phénomène peut être mis en relation avec une perturbation des traitements visuels élémentaires ou avec une atteinte spatio-attentionnelle, causée par l'envoi d'informations dégradées au cortex pariétal postérieur, en provenance du système magnocellulaire déficitaire. Cette atteinte aurait pour principale conséquence d'empêcher l'association des percepts visuels construits aux représentations orthographiques stables conservées en mémoire. Les performances d'identification de nos participants dyslexiques étaient encore diminuées par leurs connaissances lexicales limitées. Les modélisations mathématiques réalisées par le modèle CLIP (Kajii & Osaka, 2000) attestent en effet que la déperdition des informations visuelles est faiblement compensée par les inférences lexicales chez ces enfants.

Pour prometteurs qu'ils soient, nos résultats sont limités par un certain nombre d'éléments. En premier lieu, l'importance accordée à la pureté des tableaux de dyslexie de surface nous a contraint à tester un nombre de dyslexiques restreint, qui présentaient en outre une certaine hétérogénéité sur le plan du niveau lexical mesuré par l'Alouette (Lefavrais, 1967). Il serait donc utile de répliquer l'expérience auprès d'un groupe plus important. Ensuite, les résultats dégagés s'appuient principalement sur des analyses de groupe. Nous possédons donc peu de recul sur la validité du paradigme de variation de la position du regard et du CLIP (Kajii & Osaka, 2000) pour le dépistage individuel. A ce stade des recherches, il apparaît nécessaire de conduire plus avant les analyses individuelles de manière à établir la validité des critères distinctifs dégagés, tant pour avérer le comportement pathologique face aux normaux lecteurs

que pour distinguer les différents types de dyslexie (i.e. phonologique, surface ou mixte). Il sera également intéressant de déterminer si ces critères sont pertinents pour dégager des sous-types au sein des principaux tableaux de dyslexie.

Cela posé, les techniques d'analyses utilisées auprès de nos enfants dyslexiques s'inspirent d'un protocole robuste dont l'efficacité pour la description de l'acquisition normale de la lecture a été prouvée à maintes reprises (Aghababian, 1998 ; Aghababian & Nazir, 2000 ; Aghababian & Nazir, 2001 ; Aghababian et al., 2001). La phase de validation achevée, ce paradigme offrira aux professionnels l'opportunité d'analyser très finement les performances des dyslexiques. En outre, le modèle CLIP (Kajji & Osaka, 2000) permet une manipulation indépendante des paramètres visuels et lexicaux. Cet outil facilite l'examen concret de la contribution de chaque paramètre à l'explication du trouble. L'utilisation du CLIP contribuera donc à orienter la prise en charge vers la remédiation du déficit principal mis en exergue pour chaque enfant évalué.

Finalement, le rapprochement des courbes comportementales et théoriques au cours de la rééducation pourra être utilisé comme un indicateur de l'efficacité d'un travail spécifique (par exemple visuo-sémantique) sur les performances globales d'identification des mots écrits.

# BIBLIOGRAPHIE

Note : Les références précédées d'une étoile désignent les références incluses d'après citation annexe.

- Aghababian, V. (1998). *Acquisition de la lecture: Aspects développementaux et neuropsychologiques*. Thèse de doctorat non publiée, Faculté des sciences de Luminy, Marseille, France.
- Aghababian, V., & Nazir, T. A. (2000). Developing Normal Reading Skills: Aspects of the Visual Processes Underlying Word Recognition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(2), 123-150.
- Aghababian, V., & Nazir, T. A. (2001). Apport d'un modèle mathématique de la reconnaissance visuelle des mots dans le diagnostic et la réhabilitation des troubles d'acquisition de la lecture. *Revue de Neuropsychologie*, 11(1), 67-68.
- Aghababian, V., Nazir, T. A., Lançon, C., & Tardy, M. (2001). From "Logographic" to Normal Reading: The Case Of a Deaf Beginning Reader. *Brain and Language*, 78, 212-223.
- Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review*, 35, 678-723.
- American Psychology Association. (2004). *DSM-IV-TR Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux : Texte révisé*: Masson.
- \*Bakker, D. J. (1992). Neuropsychological classification and treatment of dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 25, 102-109.
- Bedoin, N., Lévy-Sebbag, H., & Kéïta, L. (2005). *Distinct cognitive impairments for hierarchical letters and hierarchical objects processing in phonological and surface developmental dyslexia*. Paper presented at the The XIIIth Conference of the European Society of Cognitive Psychology (ESCOP 13), Leiden, Holland.
- Benboutayab, N. (2004). *Interaction des facteurs visuels et lexicaux au cours de la reconnaissance des mots écrits: l'effet de la position du regard*. Thèse de doctorat non publiée, Université Lumière Lyon 2, Lyon, France.
- Bobillier-Chaumont, I., Vinter, S., & Rondal, J. A. (1999). Grammaire et handicap mental: le sens au service de la forme. *Langage et cognition chez les personnes porteuses de Trisomie 21*, 1, 67-97.
- Bonin, P., Fayol, M., & Chalard, M. (2001). Age of acquisition and word frequency in written picture naming. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54A, 469-489.
- Bosse, M.-L., Tainturier, M.-J., & Valdois, S. (sous presse). Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*.
- \*Bouma, H. (1973). Visual interference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words. *Vision Research*, 13, 767-782.
- \*Bouma, H., & Legein, C. P. (1977). Foveal and parafoveal recognition of letters and words by dyslexics and by average readers. *Neuropsychologia*, 15, 69-80.
- \*Bryant, P., & Impey, L. (1986). The similarities between normal readers and developmental and acquired dyslexics. *Cognition*, 24, 121-137.
- Brybaert, M., Lange, M., & Van Wijnendaele, I. (2000). The effects of age-of-acquisition and frequency-of-occurrence in visual word recognition: Further evidence from Dutch. *European Journal of Cognitive Psychology*, 12, 65-85.
- Brybaert, M., Vitu, F., & Schroyens, W. (1996). The right visual field advantage and the optimal viewing position effect: On the relation between foveal and parafoveal word recognition. *Neuropsychology*, 10, 385-395.
- Castles, A., & Coltheart, M. (1996). Cognitive correlates of developmental surface dyslexia: a single case study. *Cognitive Psychology*, 13(1), 25-50.
- Chase, C. H., & Tallal, P. (1990). A Developmental, Interactive Activation Model of the Word Superiority Effect. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49, 448-487.

- Cohen, J., McWhinney, B., & Provost, J. (1993). Psyscope : An interacting graphic system for designing and controlling experiments in the psychology laboratory using Macintosh computers. *Behavioral Research Methods Instruments And Computers*, 25(2), 257-271.
- Coltheart, M., Curtis, M., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: dual-route and parallel-distributed processing approaches. *Psychological Review*, 100(4), 589-608.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108, 204-256.
- Coltheart, V., Laxon, V. J., & Keating, C. (1988). Effect of word imageability and age of acquisition on children's reading. *British Journal of Psychology*, 79, 1-12.
- Conners, C. (1998). *Conners' rating scales-revised : technical manual : instruments for use with children and adolescents*. New York: Toronto : MHS.
- Cornelissen, P. L., Hansen, P. C., Bradley, L., & Stein, J. F. (1995). Analysis of perceptual confusions between 9 sets of consonant-vowel sounds in normal and dyslexic adults. *Cognition*, 59, 275-306.
- De Battista, E., & Launay, L. (2005). Rééducation cognitive des graphies contextuelles "c" et "g" chez deux enfants dyslexiques de surface. *Glossa*, 91, 50-63.
- De Partz, M. P., & Valdois, S. (1999). Dyslexies et dysorthographies acquises et développementales. In R. J. e. S. X. (eds) (Ed.), *Troubles du langage : bases théoriques, diagnostic et rééducation* (pp. 749-774): Mardaga.
- Decoppet, N. (2005). *Les effets d'Age d'Acquisition de la forme orthographique des mots : illusion ou réalité? Une approche développementale de la construction des mémoires orthographiques entre l'enfance et l'âge adulte*. Thèse de doctorat non publiée, Université Lumière Lyon 2, Lyon, France.
- \*Decourchelle, A. (2002). *Elaboration et évaluation de la validité d'une épreuve de copie contribuant au diagnostic de la dyslexie : comparaison des résultats d'enfants dyslexiques de surface et phonologique à ceux de groupes témoins du CE1 au CM2*. Mémoire d'orthophonie, Université Lyon 1, Lyon, France.
- Demonet, J. F., Taylor, M., & Chaix, Y. (2004). Developmental Dyslexia. *The Lancet*, 363, 1451-1460.
- Ducrot, S., Lété, B., Sprenger-Charolles, L., Pynte, J., & Billard, C. (2003). The Optimal Viewing Position Effect in Beginning and Dyslexic Readers. *Special Issue on Language Disorders and Reading Acquisition*, 1(10).
- \*Ehrlich, S., Brameraud du Boucheron, G., & Florin, A. (1978). *Le développement des connaissances lexicales à l'école primaire*. Paris: PUF.
- Ellis, A. W., & Morrison, C. M. (1998). Real age of acquisition effects in lexical retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 24, 515-523.
- Facoetti, A., Lorusso, M. L., Paganoni, P., Umiltà, C., & Mascetti, G. (2003). The role of visuospatial attention in developmental dyslexia: evidence from a rehabilitation study. *Cognitive Brain Research*, 15, 154-164.
- Frith, C. (1997). Brain, mind and behavior in dyslexia. In C. Hulme & M. Snowling (Eds.), *Dyslexia: Biology, cognition and intervention* (pp. 1-19). London: Whurr Publishers.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In K. E. Patterson & J. C. Marshall & M. Coltheart (Eds.), *Surface dyslexia: Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading* (pp. 301-330). London: Erlbaum.
- \*Galaburda, A. M., Menard, M. T., & Rosen, G. D. (1994). Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proceedings of the national academy of science USA*, 913, 8010-8013.
- \*Gauthier, L., Dehaut, F., & Joanette, Y. (1989). The Bells test : A quantitative and qualitative test for visual neglect. *International Journal of Clinical Neuropsychology*, 11, 49-54.
- \*Gombert, J. E., & Colé, P. (2003). Activités métalinguistiques, lecture et illettrisme. In M. Kail & M. Fayol (Eds.), *L'acquisition du langage. Le langage en développement au-delà de trois ans* (pp. 117-149): PUF.
- Gombert, J. E., Colé, P., Valdois, S., Goigoux, R., Mousty, Ph., & Fayol, M. (2000). Enseigner la lecture au cycle 2. Paris : Nathan pédagogie.
- Gough, P., & Juel, C. (1989). Les premières étapes de la reconnaissance des mots. In L. Rieben & C.

- A. Perfetti (Eds.), *L'apprenti lecteur* (pp. 85-102). Neuchâtel: Delachaux et Nieslé.
- Grainger, J., & Jacobs, A. M. (1998). On localist connectionism and psychological science. In J. G. A. M. Jacobs (Ed.), *Localist connectionist approaches to human cognition*: Mahwah, NJ.: Erlbaum.
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (1999). Phonology, Reading Acquisition, and Dyslexia: Insights from Connectionist Models. *Psychological Review*, 3, 491-528.
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the meanings of words in reading: cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review*, 111(3), 662-720.
- Huckauf, A., Heller, D., & Nazir, T. A. (1999). Lateral masking: Limitation of the feature interaction account. *Perception and Psychophysics*, 61, 177-189.
- Izura, C., & Ellis, A. W. (2002). Age of acquisition effects in word recognition and production in first and second languages. *Psicológica*, 23, 245-281.
- Jacquier-Roux, M., Valdois, S., Zorman, M., Lequette, C., & Pouget, G. (2005). *Odedys version 2 : un outil de dépistage des dyslexies*. Grenoble : Laboratoire Cogni-Sciences: IUFM de Grenoble.
- Kajii, N., & Osaka, N. (2000). Optimal viewing position in vertically and horizontally presented Japanese words. *Perception and Psychophysics*, 62(8), 1634-1644.
- Keita, L., Bedoin, N., Mérigot, A., & Herbillion, V. (2005). *Global/local processing of letter-based and object-based hierarchical stimuli : A developmental and neuropsychological study*. Paper presented at the The XIVth Conference of the European Society of Cognitive Psychology (ESCOP 14), Leiden, Holland.
- \*Kinsbourne, M., & Warrington, E. (1962). A disorder of simultaneous form perception. *Brain*, 85, 461-486.
- Klein, R., Berry, G., Briand, K., D'entremont, B., & Farmer, M. (1990). Letter identification declines with increasing retinal eccentricity at the same rate in normal and dyslexic readers. *Perception and Psychophysics*, 47, 601-606.
- Lambert, E., & Chesnet, D. (2001). Novlex: une base de données lexicales pour les élèves de primaire. *L'année psychologique*, 101, 277-288.
- Lefavrais, P. (1965). *Test de l'Alouette*. Paris: E.C.P.A.
- Lété, B. (2003). Building the mental lexicon by exposure to print: A corpus-based analysis of French reading books. In P. Bonin (Ed.), *Mental lexicon. "Some words to talk about words"* (pp. 187-214). Hauppauge, NY: Nova Science Publisher.
- Lété, B. (2003). Building the mental lexicon by exposure to print: A corpus-based analysis of French reading books. In P. Bonin (Ed.), *Mental lexicon. "Some words to talk about words"* (pp. 187-214). Hauppauge, NY: Nova Science Publisher.
- Lété, B. (2004). Le lexique des manuels scolaires de lecture. Implications pour l'estimation du vocabulaire des enfants de 6 à 11 ans. In E. Calaque & J. David (Eds.), *Didactique du lexique : Contextes, démarches, supports* (pp. 241-257). Bruxelles: De Boeck.
- Lété, B., Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2004). MANULEX: A grade-level lexical database from French elementary school readers. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(1), 156-166.
- Martinet, C., & Valdois, S. (1999). L'apprentissage de l'orthographe et ses troubles dans la dyslexie développementale de surface. *L'année psychologique*, 99, 577-622.
- Martinet, C., Valdois, S., & Fayol, M. (2004). Lexical orthographic knowledge develops from the beginning of literacy acquisition. *Cognition*, 91(2), B11-22.
- \*Massaro, D. W., & Klitzke, D. (1977). Letters are functional in word identification. *Memory & Cognition*, 5, 292-298.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of contexts effect in letter perception. *Cognitive Psychology*, 29, 1-44.
- McClelland, J. L., Thomas, A., McCandliss, B. D., & Fiez, J. A. (1999). Understanding Failures of Learning: Hebbian Learning, Competition for Representational Space, and Some Preliminary Experimental Data. In J. Reggia & E. Ruppin & D. Glanzman (Eds.), *Progress in Brain Research. Disorders of Brain, Behavior and Cognition: The Neurocomputational Perspective* (Vol. 121, pp. 75-80). Amsterdam: Elsevier.
- McConkie, G. W., Kerr, P. W., Reddix, M. D., Zola, D., & Jacobs, A. M. (1989). Eye movement

- control during reading: II. Frequency of refixating a word. *Perception and Psychophysics*, 46, 245-253.
- Michalon, S. (2003). *Apport des sciences cognitives dans le développement d'un outil de dépistage des troubles du langage écrit*. Mémoire d'orthophonie, Université Lyon 1, Lyon, France.
- Monaghan, J., & Ellis, A. W. (2002). What exactly interacts with spelling-sound consistency in word naming? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(1), 183-206.
- Montant, M., Nazir, T. A., & Poncet, M. (1998). Pure alexia and the viewing position effect in printed words. *Neuropsychology*, 15(1-2), 93-140.
- Nazir, T. A. (1993). On the relation between the optimal and the preferred viewing position in words during reading. In G. d'Ydewalle & J. van Rensbergen (Eds.), *Perception & Cognition: Advances in eye movement research* (pp. 349 - 361). Amsterdam: North-Holland.
- Nazir, T. A., Benboutayab, N., Decoppet, N., Deutsch, A., & Frost, R. (2004). Reading Habits, Perceptual Learning, and Recognition of Printed Words. *Brain & Language*, 88(3), 294-311.
- Nazir, T. A., Decoppet, N., & Aghababian, V. (2003). On the origins of age-of-acquisition effects in the perception of printed words. *Developmental Science*, 6(2), 143-150.
- Nazir, T. A., Jacobs, A. M., & O'Regan, J. K. (1998). Letter legibility and visual word recognition. *Memory & Cognition*, 26, 810-821.
- Nazir, T. A., O'Regan, J. K., & Jacobs, A. M. (1991). On words and their letters. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 29, 171-174.
- New, B., Pallier, C., Ferrand, L., & Matos, R. (2001). Une base de données lexicales du français contemporain sur internet: LEXIQUE. *L'Année Psychologique*, 101, 447-462.
- Olzak, L. A., & Thomas, J. P. (1986). Seeing spatial patterns. In K. R. Boff & L. Kaufman & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance* (Vol. II, pp. 7:1-7:56). New York: Wiley.
- Peerman, R., Lété, B., & Sprenger-Charolles, L. (sous presse). Manulex-Infra: Distributional characteristics of grapheme-phoneme mappings, infra-lexical and lexical units in child-directed written material. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*.
- Pelli, D., Palomares, M., & Majaj, N. J. (2004). Crowding is unlike ordinary masking: distinguishing feature integration from detection. *Journal of Vision*, 4, 1136-1169.
- Pernet, C., Valdois, S., Celsis, P., & Demonet, J. F. (2006). Lateral masking, levels of processing and stimulus category: A comparative study between normal and dyslexic readers. *Neuropsychologia*, 44, 2374-2385.
- Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patterson, K. E. (1996). Understanding Normal and Impaired Word Reading: Computational Principles in Quasi-Regular Domains. *Psychological Review*, 103, 56-115.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, C. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(4), 841-865.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Rayner, K., Foorman, B. R., Perfetti, C. A., Pesetsky, D., & Seidenberg, M. S. (2001). How Psychological Science Informs the Teaching of Reading. *Psychological Science in the Public Interest*, 2(2), 31-74.
- Reicher, G. M. (1969). Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material. *Journal of Experimental Psychology*, 81(2), 275-280.
- Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1982). An Interactive Activation Model of Context Effects in Letter Perception: Part 2. The Contextual Enhancement Effect and Some Tests and Extensions of the Model. *Psychological Review*, 89(1), 60-94.
- Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A Distributed, Developmental Model of Word Recognition and Naming. *Psychological Review*, 96(4), 523-568.
- Seidenberg, M. S., Peterson, A., MacDonald, M. C., & Plaut, D. C. (1996). Pseudohomophone effects and models of word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition*, 22, 48-62.
- Spinelli, D., De Luca, M., Judica, A., & Zoccolotti, P. (2002). Crowding effects on word identification

- in developmental dyslexia. *Cortex*, 38, 179-200.
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., & Bonnet, P. (1998). Reading and spelling acquisition in French: the role of phonological mediation and orthographic factors. *Journal of Experimental Child Psychology*, 68(2), 134-165.
- \*Stanovich, K. (1986). Matthew effects in reading: some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Reading Research Quarterly*, 21, 360-407.
- Stein, J. F. (2003). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7, 12-36.
- Stein, J. F., & Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neuroscience*, 20, 147-152.
- Strain, E., Patterson, K. E., & Seidenberg, M. S. (1995). Semantic effects in single-word naming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition*, 21(5), 1140-1154.
- Tversky, A. (1977). Features of similarity. *Psychological Review*, 84, 327-352.
- Valdois, S. (2005). Traitements visuels et dyslexies développementales. In C. Hommet & I. Jambaque & C. Billard & P. Gillet (Eds.), *Neuropsychologie de l'enfant et troubles du développement*. Marseille: Solal.
- Valdois, S., Bosse, M. L., Ans, B., Zorman, M., Carbonnel, S., David, D., & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits are dissociated in developmental dyslexia: Evidence for two case studies. *Reading and Writing*, 16, 543-572.
- Valdois, S., & Launay, L. (1999). Evaluation et rééducation cognitives des dyslexies développementales: illustration à partir d'une étude de cas. In P. Azouvi & D. Perrier & M. V. d. Linden (Eds.), *La rééducation en neuropsychologie: études de cas* (pp. 95-116). Marseille: Solal.
- Wheeler, D. D. (1970). Processes in word recognition. *Cognitive Psychology*, 1(1), 59-85.
- Zevin, J. D., & Seidenberg, M. S. (2002). Age of acquisition effects in word reading and other tasks. *Journal of Memory and Language*, 47, 1-29.
- Zevin, J. D., & Seidenberg, M. S. (2004). Age-of-acquisition effects in reading aloud: Tests of cumulative frequency and frequency trajectory. *Memory & Cognition*, 32(1), 31-38.

# ANNEXE 1. CARACTÉRISTIQUES DES STIMULI INTRODUIIS DANS LES LISTES EXPÉRIMENTALES

## Variables contrôlées :

### 1. Fréquence lexicale :

1.1. *Fréquence lexicale CP (Manulex)* : fréquences d'occurrence par million proposée pour 11 331 entrées orthographiques distinctes, calculées d'après un corpus de 172 384 mots extraits de 13 manuels scolaires destinés aux élèves de CP. Les valeurs de fréquence utilisées ont été pondérées par un indice de dispersion, permettant de distinguer les mots apparaissant de manière récurrente dans un contexte unique des mots se répétant dans des contextes divers.

1.2. *Fréquence lexicale CE1 (Manulex)* : fréquences d'occurrence par million – pondérée par un indice de dispersion des instances dans les manuels scolaires considérés – proposées pour 19 009 mots, établie sur la base d'un corpus de 351 024 mots extraits de 13 manuels scolaires destinés aux élèves de CE1.

1.3. *Fréquence cumulée CP/CE1* : estimation du nombre de rencontres avec les mots au cours des deux premières années d'école primaire, suivant la méthode préconisée par Bonin, Barry, Méot & Chalard (2004). Les valeurs obtenues correspondent à la somme des *z scores* associés aux mesures de fréquence d'occurrence figurant dans les échelles CP et CE1 de *Manulex*.

2. *Fréquence du voisinage orthographique (Manulex-Infra, CE1)* : somme de la fréquence lexicale associée à chacun des voisins orthographiques des mots (i.e. mots dérivés d'un mot cible par substitution d'une unique lettre ; *bouge* et *roule* sont des voisins du mot *rouge*, par exemple), pondérée par leur fréquence lexicale.

3. *Classe grammaticale* : plusieurs recherches ayant suggéré l'existence de traitements spécifiques dépendants de la classe grammaticale des items considérés (Colé & égui, 1994 ; Deutsch, Frost & Forster, 1998 ; Munte et al., 2001), seuls des noms ont été introduits dans les différentes listes expérimentales. On notera cependant que 2 des 30 mots de 7 lettres (*pouvoir* et *murmure*) sont homophones homographes de formes verbales.

4. *Fréquence des syllabes (Manulex-Infra, CE1)* : fréquence moyenne des syllabes constitutives des mots. Les valeurs correspondent au nombre moyen d'apparitions des syllabes d'un mot cible sur l'ensemble des mots du corpus de référence, pondéré par la fréquence d'occurrence de ces mots. Le calcul tient également compte de la position (initiale, médiane ou finale) occupée par les syllabes dans le mot. Ainsi, si l'on considère par exemple le mot *arbitre*, le calcul s'effectue en moyennant la fréquence de la syllabe initiale *ar-* (1275.68), de la syllabe médiane *-bi-* (387.1) et de la syllabe finale *-tre* (7535.6), aboutissant à une valeur de 3066.13.

La prise en compte de cette variable est fondée sur la mise en évidence d'une influence des traitements basés sur les syllabes dans les langues comme le Français, où les frontières syllabiques sont claires (Colé, Sprenger-Charolles, Siegel, & Jimenez-Gonzalez, 2004, cité par Peereman, Lété et Sprenger-Charolles, sous presse).

### 5. Consistance phono-graphémique et grapho-phonémique :

Les données de la littérature suggèrent que les performances des lecteurs experts sont conjointement affectées par la fréquence d'occurrence des mots et le degré de régularité des associations de graphèmes à phonèmes. Peereman, Lété & Sprenger-Charolles (sous presse) avancent toutefois que le comportement des jeunes lecteur serait plus directement tributaire l'influence de la consistance grapho-phonémique, probablement en raison du fait que les effets de fréquence sont items-spécifiques, tandis que les effets de consistance sont davantage liés aux capacités de généralisation dérivées de la sensibilité aux appariements phono-graphémiques fréquents. Concernant les langues opaques - dont le français est un exemple - il convient également de tenir compte de l'asymétrie des correspondances grapho-phonémiques et phono-graphémiques, le degré de consistance naturellement plus faible des secondes complexifiant grandement l'acquisition de l'orthographe en regard de l'apprentissage de la lecture (Alegria & Mousty, 1996, Leybert & Content, 1995).

L'ambiguïté des recodages phonologiques sur présentation d'un input orthographique ou celle des recodages graphémiques sur présentation d'un input phonologique est classiquement évaluée sur la base d'indices de *consistance*.

5.1. *Consistance phono-graphémique totale (Manulex-Infra, CEI)* : fréquence d'occurrence d'une correspondance de phonème à graphème donnée, divisée par la fréquence d'occurrence totale du phonème en cause, indépendamment des diverses réalisations graphémiques possibles. Le résultat est ensuite multiplié par 100, de sorte qu'une valeur de 100 représente la consistance phono-graphémique parfaite. Par exemple, la consistance de l'association /s/ → « s » (comme dans le mot *singe*) est obtenue en divisant la fréquence d'occurrence de l'association /s/ → « s » par la fréquence du phonème /s/, indépendamment de sa transcription graphique (incluant « s », mais aussi « c » : *cil*, « t » : *na<sup>ti</sup>on*, « ss » : *poisson*, « ç » : *façon*, « sc » : *science*, « z » : *quartz*, « x » : *dix*). Ce principe est résumé dans l'équation suivante :

$$\text{Cons. } PG_i = \left( \frac{\text{Fréquence d'occurrence de l'association phono - graphémique}_i}{\text{Fréquence totale d'occurrence du phonème concerné}} \right) * 100$$

où *Cons.PG<sub>i</sub>* = consistance de l'association phono-graphémique *i*.

5.2. *Consistance grapho-phonémique totale (Manulex-Infra, CEI)* : fréquence d'occurrence d'une correspondance de graphème à phonème donnée, divisée par la fréquence d'occurrence totale du graphème en cause, indépendamment de ses diverses réalisations phonémiques possibles. Le résultat est ensuite multiplié par 100, de sorte qu'une valeur de 100 représente la consistance grapho-phonémique parfaite. Par exemple, la consistance de l'association « s » → /s/ (comme dans le mot *singe*) est obtenue en divisant la fréquence d'occurrence de l'association « s » → /s/ par la fréquence du graphème « s », indépendamment de sa transcription sonore (incluant /s/, mais aussi /Ø/ : *narines* et /z/ : *prose*). Ce principe est résumé dans l'équation suivante :

$$\text{Cons. } GP_i = \left( \frac{\text{Fréquence d'occurrence de l'association grapho - phonémique}_i}{\text{Fréquence totale d'occurrence du graphème concerné}} \right) * 100$$

où *Cons.GP<sub>i</sub>* = consistance de l'association grapho-phonémique *i*.

5.3. Finalement, de manière à prendre en compte l'importante variation des indices de consistance suivant la position relative des unités dans le mot (Peereman, Lété et Sprenger-Charolles, sous presse), cette première approche a été complétée par une vérification plus fine des appariements phono-graphémiques et grapho-phonémiques *tenant compte de la position initiale, médiane ou finale* des unités considérées. Trois indices de consistance phono-graphémiques supplémentaires ont donc été pris en considération : *consistance phono-*

*graphémique initiale* (fréquence des appariement phono-graphémiques en position initiale), *consistance phono-graphémique médiane* (fréquence des appariements phono-graphémiques en position médiane) et *consistance phono-graphémique finale* (fréquence des appariement phono-graphémiques en position finale). Parallèlement les indices correspondants de consistance grapho-phonémique *initiale, médiane et finale* ont été pris en compte.

Le tableau ci-dessous rappelle – pour les mots de 5 et 7 lettres – les valeurs moyennes de fréquence lexicale (*Freq CP, Freq CE1 et FC CP/CE1*), de fréquence du voisinage (*Freq Vois*), de fréquence des syllabes (*Freq syllabes*), de consistance phono-graphémique (*Cons PG : Globale, Initiale, Médiane, Finale*) et de consistance grapho-phonémique (*Cons GP : Globale, Initiale, Médiane, Finale*). Les résultats des différentes analyses par items sont présentés dans la dernière colonne du tableau. Dans la majorité des cas, aucune différence significative n'a été observée entre les mots des différentes listes. La consistance phono-graphémique globale est cependant restée plus élevée pour les mots de 5 lettres que pour leurs homologues de 7 lettres, en raison notamment d'un degré de consistance significativement plus bas porté par les correspondances situées en fin de mots. Cette tendance est la conséquence de la morphologie dérivationnelle du français, qui augmente la probabilité de trouver des fins de mots silencieuses, accentuant de fait le degré d'ambiguïté de la transcription graphique (Peereman, Lété & Sprenger-Charolles, sous presse).

|                | Mots 5 Lettres | Mots 7 Lettres | Moyenne | Statistiques                     |
|----------------|----------------|----------------|---------|----------------------------------|
| Freq CP        | 70.70          | 42.36          | 56.53   | <i>ns</i> F(1,58)=2.158, p=.1473 |
| Freq CE1       | 67.31          | 35.22          | 51.27   | <i>ns</i> F(1,58)=1.606, p=.2102 |
| FC CP/CE1      | .05            | -.05           | 0.00    | <i>ns</i> F(1,58)=2.257, p=.1385 |
| Freq Vois      | 24.50          | 19.60          | 22.05   | <i>ns</i> F(1,58)=.144, p=.7060  |
| Freq syllabes  | 2448.82        | 1151.01        | 1799.92 | <i>ns</i> F(1,58)=1.455, p=.2326 |
| <b>Cons.PG</b> |                |                |         |                                  |
| Globale        | 94.78          | 90.61          | 92.70   | <i>s</i> F(1,58)=12.421, p=.0008 |
| Initiale       | 95.21          | 91.46          | 93.34   | <i>ns</i> F(1,58)=1.010, p=.3190 |
| Médiane        | 93.60          | 92.17          | 92.89   | <i>ns</i> F(1,58)=1.079, p=.3032 |
| Finale         | 97.20          | 81.10          | 89.15   | <i>s</i> F(1,58)=8.724, p=.0045  |
| <b>Cons.GP</b> |                |                |         |                                  |
| Globale        | 85.49          | 85.32          | 85.41   | <i>ns</i> F(1,58)=.008, p=.9035  |
| Initiale       | 99.31          | 97.53          | 98.42   | <i>ns</i> F(1,58)=1.805, p=.1843 |
| Médiane        | 78.53          | 82.85          | 80.69   | <i>ns</i> F(1,58)=1.618, p=.2085 |
| Finale         | 84.01          | 79.44          | 81.73   | <i>ns</i> F(1,58)=.502, p=.4816  |

*Liste des Mots de 5 Lettres*

| Forme Ortho.   | Freq. CP     | Freq. CE1    | FC CP/CE1   | Freq. Voisins | Freq Syllabes  | Cons PG      | Cons GP      |
|----------------|--------------|--------------|-------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| Ongle          | 28.60        | 7.76         | -0.12       | 94            | 3110.10        | 87.61        | 68.97        |
| Ruban          | 39.56        | 12.71        | -0.09       | 0             | 209.76         | 96.46        | 90.51        |
| Bidon          | 11.88        | 10.80        | -0.13       | 3             | 176.22         | 98.10        | 91.18        |
| Match          | 19.57        | 12.32        | -0.12       | 0             | 13.19          | 94.41        | 87.08        |
| Total          | 76.09        | 14.07        | -0.04       | 0             | 209.91         | 97.57        | 90.27        |
| Matou          | 9.99         | 14.12        | -0.13       | 62            | 2487.75        | 97.10        | 91.71        |
| Bocal          | 13.65        | 46.52        | -0.07       | 0             | 208.99         | 91.54        | 84.34        |
| Savon          | 86.63        | 30.80        | 0.00        | 32            | 2694.02        | 94.05        | 95.28        |
| Avril          | 70.50        | 31.03        | -0.02       | 0             | 22737.01       | 92.62        | 93.62        |
| Odeur          | 78.61        | 56.19        | 0.04        | 0             | 766.21         | 96.79        | 84.01        |
| Barbe          | 49.43        | 63.45        | 0.01        | 36            | 595.41         | 99.15        | 85.90        |
| Mardi          | 102.27       | 75.65        | 0.10        | 0             | 1147.51        | 99.05        | 94.45        |
| Tarte          | 240.05       | 30.54        | 0.20        | 184           | 2388.48        | 96.91        | 83.72        |
| Tigre          | 84.58        | 93.13        | 0.11        | 80            | 350.85         | 94.05        | 70.01        |
| Avion          | 235.19       | 113.13       | 0.34        | 0             | 22794.78       | 87.23        | 80.22        |
| Talon          | 8.20         | 0.29         | -0.16       | 32            | 1054.91        | 92.22        | 95.14        |
| Chips          | 10.77        | 0.22         | -0.16       | 2             | 0.22           | 93.96        | 66.20        |
| Bisou          | 12.69        | 0.25         | -0.15       | 25            | 151.87         | 98.57        | 76.91        |
| Opéra          | 16.71        | 4.11         | -0.14       | 0             | 852.84         | 89.44        | 96.92        |
| Larme          | 19.09        | 0.36         | -0.14       | 88            | 569.31         | 94.81        | 86.51        |
| Pacha          | 23.68        | 1.91         | -0.14       | 4             | 1175.69        | 98.83        | 95.12        |
| Melon          | 28.70        | 0.36         | -0.13       | 86            | 1417.28        | 91.37        | 79.73        |
| Métal          | 1.05         | 22.42        | -0.13       | 0             | 474.96         | 93.56        | 93.00        |
| Lueur          | 0.70         | 9.60         | -0.15       | 4             | 9.85           | 98.52        | 70.32        |
| Neveu          | 0.43         | 9.01         | -0.15       | 0             | 2883.02        | 98.91        | 79.88        |
| Rayon          | 73.12        | 45.37        | 0.01        | 3             | 343.56         | 97.50        | 79.20        |
| Ordre          | 67.50        | 475.03       | 0.78        | 0             | 1489.53        | 96.92        | 88.13        |
| Balai          | 108.18       | 31.68        | 0.03        | 0             | 952.46         | 93.68        | 91.06        |
| Arbre          | 398.19       | 498.40       | 1.26        | 0             | 1483.63        | 92.00        | 88.76        |
| Fleur          | 205.10       | 308.18       | 0.66        | 0             | 715.14         | 90.35        | 86.64        |
| <b>Moyenne</b> | <b>70.69</b> | <b>67.31</b> | <b>0.05</b> | <b>24.50</b>  | <b>2448.81</b> | <b>94.77</b> | <b>85.49</b> |

*Liste des Mots de 7 Lettres*

| Forme Ortho.   | Freq. CP     | Freq. CE1    | FC CP/CE1    | Freq. Voisins | Freq Syllabes  | Cons PG      | Cons GP      |
|----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| travail        | 214.01       | 194.89       | 0.46         | 0             | 479.53         | 99.22        | 93.71        |
| bouchon        | 35.77        | 44.31        | -0.04        | 0             | 741.94         | 98.12        | 99.24        |
| portail        | 33.75        | 8.62         | -0.11        | 28            | 558.07         | 97.37        | 92.05        |
| journal        | 205.42       | 169.36       | 0.41         | 0             | 1059.95        | 95.40        | 93.25        |
| arbitre        | 16.33        | 21.08        | -0.11        | 0             | 3066.13        | 92.61        | 86.16        |
| octobre        | 28.39        | 22.92        | -0.09        | 0             | 699.16         | 90.87        | 81.91        |
| vacarme        | 8.32         | 9.71         | -0.14        | 0             | 1027.94        | 90.38        | 81.39        |
| parasol        | 43.84        | 14.51        | -0.09        | 0             | 930.52         | 90.03        | 82.69        |
| machine        | 118.01       | 85.26        | 0.14         | 0             | 2391.31        | 85.50        | 80.68        |
| tartine        | 32.89        | 16.01        | -0.10        | 9             | 242.15         | 85.36        | 81.49        |
| vitrine        | 49.77        | 9.60         | -0.09        | 0             | 884.83         | 85.29        | 80.41        |
| écharpe        | 35.50        | 10.64        | -0.10        | 25            | 10295.35       | 84.96        | 86.67        |
| murmure        | 16.26        | 14.11        | -0.12        | 33            | 198.09         | 84.87        | 82.75        |
| caverne        | 8.09         | 31.61        | -0.10        | 1             | 1048.49        | 84.82        | 77.79        |
| sardine        | 12.57        | 10.67        | -0.13        | 0             | 21.34          | 84.50        | 82.27        |
| marmite        | 18.68        | 24.40        | -0.10        | 0             | 582.56         | 84.45        | 84.04        |
| chaleur        | 43.77        | 31.97        | -0.05        | 0             | 1574.83        | 93.95        | 85.51        |
| docteur        | 39.62        | 93.88        | 0.05         | 0             | 394.15         | 90.21        | 79.06        |
| facteur        | 82.68        | 53.95        | 0.04         | 0             | 375.79         | 88.89        | 78.34        |
| biberon        | 38.64        | 17.50        | -0.09        | 0             | 163.26         | 88.82        | 81.92        |
| réunion        | 8.12         | 0.25         | -0.16        | 0             | 940.90         | 90.35        | 78.67        |
| colonie        | 10.70        | 1.96         | -0.15        | 121           | 1306.44        | 76.78        | 78.13        |
| grillon        | 22.14        | 3.87         | -0.13        | 0             | 347.00         | 88.65        | 80.62        |
| fenouil        | 18.27        | 1.96         | -0.14        | 0             | 428.75         | 94.35        | 79.79        |
| pouvoir        | 22.27        | 59.77        | -0.03        | 0             | 1155.12        | 99.57        | 96.44        |
| charbon        | -            | 25.11        | -0.12        | 0             | 157.31         | 97.79        | 95.50        |
| potiron        | 0.15         | 14.73        | -0.14        | 0             | 732.61         | 96.12        | 90.79        |
| douleur        | 6.45         | 7.72         | -0.15        | 277           | 438.40         | 93.81        | 88.85        |
| blouson        | 3.97         | 9.58         | -0.15        | 0             | 840.21         | 92.86        | 86.21        |
| marteau        | 53.99        | 36.41        | -0.03        | 94            | 1448.07        | 92.38        | 93.36        |
| <b>Moyenne</b> | <b>42.36</b> | <b>34.88</b> | <b>-0.05</b> | <b>19.60</b>  | <b>1151.00</b> | <b>90.61</b> | <b>85.32</b> |

*Liste des Pseudo-Mots de 5 Lettres*

| PM             | Mot de Base 1 | Mot de Base 2 | Freq. Syllabes | Cons PG      | Cons GP      |
|----------------|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| lutou          | lutin         | bijou         | 373.27         | 96.53        | 87.86        |
| galou          | galop         | filou         | 180.36         | 92.52        | 91.98        |
| pitou          | pitié         | genou         | 337.83         | 96.88        | 89.83        |
| napon          | nappe         | canon         | 470.30         | 94.36        | 92.22        |
| munon          | musée         | canon         | 269.94         | 94.03        | 86.87        |
| viron          | virus         | canon         | 1032.74        | 97.05        | 93.39        |
| supon          | super         | coton         | 543.30         | 89.49        | 88.37        |
| dural          | durée         | canal         | 3588.18        | 98.64        | 89.18        |
| lival          | livre         | canal         | 1073.96        | 99.77        | 90.76        |
| ameur          | amour         | pleur         | 22758.63       | 85.20        | 85.55        |
| ideur          | idiot         | pleur         | 2283.90        | 95.98        | 84.57        |
| tirbe          | tiret         | bombe         | 571.78         | 84.67        | 84.40        |
| bulte          | bulle         | honte         | 2280.47        | 78.33        | 80.53        |
| imala          | image         | koala         | 2162.97        | 87.88        | 96.04        |
| piara          | piano         | cobra         | 407.78         | 95.63        | 81.32        |
| drodu          | droit         | pendu         | 240.34         | 98.93        | 95.31        |
| turoi          | tubes         | paroi         | 3543.73        | 98.27        | 91.43        |
| bilui          | bilan         | appui         | 272.41         | 94.91        | 81.44        |
| apigo          | appel         | frigo         | 15329.25       | 69.85        | 75.43        |
| chile          | chien         | aigle         | 0.00           | 75.92        | 81.17        |
| tabre          | table         | givre         | 1508.99        | 84.85        | 85.90        |
| blare          | blanc         | foire         | 0.00           | 80.10        | 86.47        |
| adume          | adieu         | plume         | 22721.50       | 74.65        | 80.74        |
| vitif          | ville         | motif         | 976.41         | 97.35        | 84.54        |
| bonif          | botte         | canif         | 173.61         | 96.57        | 86.13        |
| blour          | blanc         | amour         | 0.00           | 93.74        | 98.72        |
| mitur          | micro         | futur         | 1346.54        | 97.19        | 84.57        |
| gatur          | gamin         | futur         | 872.30         | 96.37        | 83.54        |
| oubir          | oubli         | désir         | 2346.34        | 91.73        | 88.02        |
| iglir          | igloo         | désir         | 2245.38        | 88.14        | 79.09        |
| <b>Moyenne</b> |               |               | <b>2997.07</b> | <b>90.85</b> | <b>86.85</b> |

*Liste des Pseudo-Mots de 7 Lettres*

| PM             | Mot de Base 1 | Mot de Base 2 | Freq. Syllabes | Cons PG      | Cons GP      |
|----------------|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| doulage        | douleur       | plumage       | 244.29         | 80.12        | 82.84        |
| gorital        | gorille       | hopital       | 487.64         | 96.85        | 87.47        |
| poiride        | poireau       | liquide       | 370.18         | 87.07        | 83.28        |
| vedicle        | vedette       | article       | 403.66         | 89.96        | 70.22        |
| grutune        | gruyère       | fortune       | 30.45          | 84.18        | 76.35        |
| moineur        | moineau       | douleur       | 1139.20        | 95.57        | 83.14        |
| plateur        | plateau       | douleur       | 560.63         | 93.19        | 85.57        |
| chapeur        | chapeau       | douleur       | 1254.04        | 95.59        | 83.17        |
| articar        | article       | autocar       | 819.25         | 87.31        | 84.24        |
| maticar        | matinée       | autocar       | 1957.05        | 92.42        | 82.21        |
| brioton        | brioche       | caneton       | 243.84         | 96.12        | 90.79        |
| lumibon        | lunaire       | charbon       | 308.94         | 96.02        | 87.54        |
| troudon        | trousse       | chardon       | 460.83         | 97.55        | 97.75        |
| robibus        | robinet       | autobus       | 251.96         | 98.42        | 74.52        |
| magabus        | magasin       | autobus       | 1691.89        | 95.18        | 64.69        |
| grimour        | grimace       | tambour       | 152.15         | 94.54        | 92.67        |
| trapour        | trapèze       | bonjour       | 346.47         | 96.42        | 94.06        |
| nouvoir        | nouveau       | bonsoir       | 2036.04        | 99.57        | 96.44        |
| balaval        | balance       | estival       | 552.17         | 96.49        | 91.70        |
| placron        | placard       | aileron       | 213.65         | 87.28        | 89.43        |
| salilou        | savates       | caillou       | 1771.87        | 92.99        | 93.62        |
| rouline        | rouleau       | colline       | 164.53         | 81.33        | 83.45        |
| drapine        | drapeau       | colline       | 107.27         | 93.99        | 81.79        |
| alimine        | aliment       | colline       | 15419.78       | 76.39        | 81.67        |
| romadie        | romarin       | maladie       | 685.39         | 86.49        | 82.74        |
| dormote        | dormeur       | compote       | 232.59         | 84.39        | 86.35        |
| bisture        | bistrot       | lecture       | 710.48         | 78.00        | 72.18        |
| travume        | turbine       | costume       | 0.68           | 85.42        | 82.26        |
| palmoir        | diamant       | bonsoir       | 72.39          | 94.01        | 81.80        |
| tortate        | torture       | cravate       | 108.68         | 85.99        | 83.74        |
| <b>Moyenne</b> |               |               | <b>1093.27</b> | <b>90.63</b> | <b>84.26</b> |

# TABLES

## TABLE DES MATIERES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCTION</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>I PARTIE THEORIQUE</b> .....  | <b>3</b>  |
| I.1 LE DEVELOPPEMENT DE LA RECONNAISSANCE VISUELLE DES MOTS.....   | 3         |
| I.1.1 <i>Les limites du traitement holistique des mots écrits</i> .....  | 3         |
| I.1.2 <i>Le traitement parallèle des lettres dans la reconnaissance des mots écrits</i> .....  | 4         |
| I.2 LES CONSEQUENCES DE L'ALTERATION DU TRAITEMENT PARALLELE DES LETTRES : L'APPORT DE VALDOIS ET COLLABORATEURS.....                              | 7         |
| I.2.1 <i>Lecture et fenêtre visuo-attentionnelle</i> .....   | 7         |
| I.2.2 <i>Réduction de la fenêtre visuo-attentionnelle et dyslexie</i> .....  | 8         |
| I.3 CLIP : UN OUTIL D'ÉVALUATION DU DEVELOPPEMENT DES STRATEGIES PERCEPTIVO-LEXICALES DANS LA RECONNAISSANCE DES MOTS ECRITS.....                  | 9         |
| I.3.1 <i>La modélisation des contraintes visuelles dans l'identification des mots écrits : les travaux de Nazir, O'Regan et Jacobs, 1991</i> ..... | 9         |
| I.3.2 <i>L'intégration des paramètres lexicaux : le modèle CLIP (Kajii &amp; Osaka, 2000)</i> .....  | 12        |
| <b>II PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>III EXPERIMENTATION</b> .....   | <b>17</b> |
| III.1 MATÉRIEL ET MÉTHODE.....   | 17        |
| III.1.1 <i>Participants</i> .....  | 17        |
| III.1.1.1 Groupe témoin.....   | 17        |
| III.1.1.2 Groupe dyslexique.....   | 17        |
| III.1.1.2.1 Critères d'exclusion.....  | 18        |
| III.1.1.2.2 Estimation du niveau lexical.....  | 19        |
| III.1.1.2.3 Description de la spécificité du trouble.....  | 20        |
| III.1.1.2.3.1 Profil comportemental en lecture et en écriture.....   | 20        |
| III.1.1.2.3.2 Déficit cognitif sous-jacent.....  | 22        |
| III.1.2 <i>Matériel</i> .....  | 24        |
| III.1.2.1 Sélection des mots.....  | 24        |
| III.1.2.2 Construction des pseudo-mots.....  | 26        |
| III.1.3 <i>Procédure</i> .....   | 27        |
| <b>IV PRESENTATION DES RESULTATS</b> .....   | <b>30</b> |
| IV.1 ANALYSE DES DONNEES COMPORTEMENTALES.....   | 30        |
| IV.1.1 <i>Qualité du traitement de la forme globale des stimuli</i> .....  | 30        |
| IV.1.1.1 Effet de lexicalité.....  | 30        |
| IV.1.1.2 Précision du traitement perceptif : profils d'identification des pseudo-mots.....   | 31        |
| IV.1.1.3 Précision du traitement perceptivo-lexical : profils d'identification des mots.....   | 32        |
| IV.1.2 <i>Qualité du traitement des unités infra lexicales</i> .....   | 34        |
| IV.1.2.1 Taux d'adéquation orthographique des réponses erronées.....   | 34        |
| IV.1.2.2 Précision de reconnaissance des lettres suivant leur position sérielle et la zone du stimulus fixée.....                                  | 35        |
| IV.1.3 <i>Synthèse des résultats comportementaux</i> .....   | 38        |
| IV.2 SIMULATION DES PROFILS D'IDENTIFICATION DES MOTS AU MOYEN DU MODELE CLIP (KAJII & OSAKA, 2000).....   | 38        |
| IV.2.1 <i>Simulation des données comportementales des normaux lecteurs : Méthode et Résultats</i> .....  | 39        |
| IV.2.1.1 Estimation des caractéristiques du savoir lexical des jeunes lecteurs.....  | 39        |
| IV.2.1.2 Estimation de la valeur des paramètres visuels.....   | 40        |
| IV.2.1.2.1 Estimation du paramètre a et du ratio d'asymétrie gauche-droite.....  | 40        |
| IV.2.1.2.2 Estimation du taux de diminution de la lisibilité des lettres en vision périphérique.....   | 41        |
| IV.2.1.3 Estimation du taux d'identification correctes des mots de 5 lettres suivant la position de fixation.....                                  | 43        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| IV.2.2    | <i>Simulation des données comportementales des enfants dyslexiques de surface : Méthode et Résultats</i> | 44        |
| IV.2.2.1  | Estimation de l'altération de la valeur des paramètres visuels de référence                              | 44        |
| IV.2.2.2  | Estimation de l'altération du savoir lexical de référence  | 45        |
| <b>V</b>  | <b>DISCUSSION</b>  | <b>47</b> |
| V.1       | ALTÉRATION DES STRATÉGIES D'ANALYSE VISUELLE DANS LA DYSLEXIE DE SURFACE                                 | 48        |
| V.2       | ALTÉRATION DU DÉVELOPPEMENT DU SAVOIR ORTHOGRAPHIQUE DANS LA DYSLEXIE DE SURFACE                         | 52        |
| V.3       | PERSPECTIVES   | 54        |
| V.3.1     | <i>Validité du paradigme de la position variable du regard pour les analyses individuelles</i>           | 54        |
| V.3.1.1   | Effet de la position du regard dans le mot   | 54        |
| V.3.1.2   | Etendue de l'empan perceptif   | 55        |
| V.3.1.3   | Identification des lettres suivant leur position sérielle dans le mot                                    | 56        |
| V.3.2     | <i>Quelles pistes pour la rééducation ?</i>  | 57        |
| <b>VI</b> | <b>CONCLUSION</b>  | <b>60</b> |
|           | <b>BIBLIOGRAPHIE</b>   | <b>62</b> |
|           | <b>ANNEXE 1. CARACTÉRISTIQUES DES STIMULI INTRODUCIS DANS LES LISTES EXPÉRIMENTALES</b>                  | <b>67</b> |
|           | <b>TABLES</b>  | <b>74</b> |

## LISTE DES GRAPHIQUES NUMEROTES

|  |            |
|--|------------|
| Figure 1 : Modèle d'Activation Interactive (McClelland & Rumelhart, 1981).....   | p.5 verso  |
| Figure 2 : Probabilité empirique et théorique d'identifier les mots (Nazir et al. 1991).....                                     | p.10       |
| Figure 3 : Détail des 32 CLIPs construits pour le mot TABLE.....   | p.12       |
| Figure 4 : Paradigme de position variable dans le mot.....   | p.28       |
| Figure 5 : Déroulement du protocole expérimental.....  | p.29       |
| Figure 6 : Effet de lexicalité.....  | p.31       |
| Figure 7 : Taux d'identification des pseudo-mots.....  | p.32       |
| Figure 8 : Taux d'identification des mots.....   | p.33       |
| Figure 9 : Valeur de l'Indice de Proximité Orthographique.....   | p.35       |
| Figure 10 : Taux d'identification des lettres constitutives des mots.....  | p.34 verso |
| Figure 11 : Taux d'identification des lettres constitutives des pseudo-mots.....   | p.35 verso |
| Figure 12 : Taux d'identification de lettres parmi des distracteurs.....   | p. 41      |
| Figure 13 : Taux d'identification correcte des pseudo-mots de 5 lettres, théoriques et empiriques (normaux-lecteurs).....        | p. 42      |
| Figure 14 : Taux d'identification correcte des mots de 5 lettres, théoriques et empiriques (normaux-lecteurs).....               | p. 43      |
| Figure 15 : Taux d'identification correcte des pseudo-mots et des mots de 5 lettres, théoriques et empiriques (dyslexiques)..... | p. 45      |
| Figure 16 : Taux d'identification correcte des mots de 5 lettres, théoriques et empiriques (dyslexiques), lexique restreint..... | p. 46      |
| Figure 17 : Taux d'identification correcte des mots et pseudo-mots (dyslexiques, données individuelles).....                     | p.55       |
| Figure 18 : Synthèse des Taux d'identification correcte des mots (dyslexiques, données individuelles).....                       | p.56       |
| Figure 19 : Synthèse des écarts mesurés entre le taux d'identification des lettres suivant leur position.....                    | p.57       |

## LISTE DES TABLEAUX NUMEROTES

|   |      |
|---|------|
| Tableau 1 : Informations relatives au groupe de dyslexiques.....                                | p.19 |
| Tableau 2 : Liste des épreuves du BALE.....   | p.21 |
| Tableau 3 : Score des enfants dyslexiques au BALE.....  | p.22 |
| Tableau 4 : Score des enfants dyslexiques au Report Global.....                                 | p.24 |
| Tableau 5 : Caractéristiques des mots introduits dans la liste expérimentale.....               | p.26 |
| Tableau 6 : Caractéristiques des pseudo-mots introduits dans la liste expérimentale.....        | p.27 |
| Tableau 7 : Taux de reconnaissance des pseudo-mots.....   | p.31 |
| Tableau 8 : Détail des Anovas évaluant le taux de reconnaissance des lettres (mots).....        | p.37 |
| Tableau 9 : Détail des Anovas évaluant le taux de reconnaissance des lettres (pseudo-mots)..... | p.37 |

## LISTE DES EQUATIONS NUMEROTEES

|                 |      |
|-----------------|------|
| Equation 1..... | p.11 |
| Equation 2..... | p.13 |
| Equation 3..... | p.14 |
| Equation 4..... | p.14 |
| Equation 5..... | p.14 |
| Equation 6..... | p.34 |
| Equation 7..... | p.39 |
| Equation 8..... | p.42 |